

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2017

Bc. Jan Martínek

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského**  
**inženýrství**

**Kamerová inspekce výrobku v rámci**  
**robotického pracoviště při výrobě brzd**

**Camera Inspection of Product in**  
**Robotic Workplace in Brake Production**

2017

Bc. Jan Martínek

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Martínek**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2612T041 Řídicí a informační systémy  
Téma: **Kamerová inspekce výrobku v rámci robotického pracoviště  
při výrobě brzd  
Camera Inspection of Product in Robotic Workplace  
in Brake Production**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor prostředků a přístupů strojového vidění v průmyslové automatizaci.
2. Analýza využití strojového vidění u robotických pracovišť.
3. Seznámení se s nástrojem Vision Builder.
4. Návrh inspekce pomocí strojového vidění pro robotické pracoviště určené k výrobě brzd.
5. Realizace aplikace pro inspekci.
6. Ověření funkčnosti aplikace a zhodnocení výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] BERGER, Hans. *Automating with SIMATIC*. 5th edition. Erlangen, Germany: Publicis Publishing, 2013, 284 p. ISBN 978-3895783876.
- [2] BERGER H. *Automating with SIMATIC S7-1500: Configuring, Programming and Testing with STEP 7 Professional*. Hardcover, 2014. ISBN 978-3895784040.
- [3] Technická dokumentace k systému Simatic.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017

  
doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



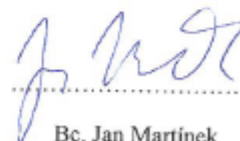
  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Jako autor uvedené diplomové práce prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce, jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

28. 4. 2017

V Ostravě dne



Bc. Jan Martínek

## Prohlášení zástupce spolupracující právnické osoby

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech při VŠB-TU Ostrava.

28.4.2017

V Ostravě dne:



Zástupce ELVAC a.s.



ELVAC a. s.

Hasičská 53, 700 30 Ostrava-Hrabůvka  
IČ: 25833812, DIČ: CZ25833812  
Tel.: +420 597 407 100, Fax: +420 597 407 102

## **Poděkování**

Děkuji především panu doc. Ing. Jiřímu Koziorkovi, Ph.D., za poskytnuté cenné konzultace a školení při přípravě mé diplomové práce. Taktéž bych tímto směrem chtěl poděkovat panu Ing. Dušanovi Šelongovi v zastoupení firmy Elvac a.s. za vedení a spolupráci při vypracování praktické části této práce. Pak bych chtěl poděkovat i firmě ATEsystem s.r.o. za poskytnutí semináře o strojovém vidění. Nakonec bych chtěl poděkovat celé rodině a partnerce za podporu při studiu.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá realizací systému kamerové inspekce v rámci instalace do robotického pracoviště pro výrobu brzdných třmenů. V první části je proveden rozbor a přístup strojového vidění pro použití ve výrobním průmyslu. Poté byla zanalyzována problematika použití strojového vidění v robotických pracovištích. Byla navrhnutá a zrealizována aplikace kamerové inspekce pro použití na robotickém pracovišti v programu VBAI s vizualizací dat. Jednotlivé inspekční kroky byly ověřeny v jazyce MATLAB a byla graficky zpracována vizualizace v MATLAB GUI. Byl vytvořen program v TIA portal V13 pro komunikaci s I/O aplikací kamerové inspekce. Celá tato aplikace strojového vidění pro kamerovou inspekci byla úspěšně dokončena, ověřena a otestována.

## **Klíčová slova**

Strojové vidění, Robotické pracoviště, PLC, Kamerová inspekce, VBAI, MATLAB GUI, vizualizace

## **Abstract**

This thesis deals with the implementation of CCTV inspections within the installation of a robotic workplace for production of brakes. The first part is an analysis approach and vision for use in the manufacturing industry. Then analyzed the issue of the use of machine vision in robotics workplaces. It was designed and implemented by CCTV inspection for use on robotic work program VBAI with data visualization. Individual inspection steps were verified in MATLAB and the graphical visualization processed in MATLAB GUI. Program was created in the TIA Portal V13 for communication with the I/O applications CCTV inspection. The whole machine vision applications for camera inspection was successfully completed, validated and tested.

## **Keywords**

Machine vision, Robotic Workstation, PLC, Camera inspection, VBAI, MATLAB GUI, Visualization.

## Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk .....	11
Seznam ilustrací .....	12
Seznam tabulek .....	13
1 Úvod .....	14
2 Strojového vidění pro průmyslové využití .....	15
2.1 Rozdělení strojového vidění podle použití v průmyslu .....	15
2.1.1 Strojové vidění ve výrobním průmyslu .....	15
2.1.2 Strojové vidění a inteligentní dopravní systémy .....	16
2.1.3 Vojenské, bezpečnostní aplikace a výzkum .....	17
2.2 Kamerový a datový řetězec .....	17
2.2.1 Základní popis .....	17
3 Analýza použití strojového vidění na robotickém pracovišti .....	18
3.1 Struktura robotického pracoviště .....	18
3.2 Kamera umístěná na rameně sériového robota .....	19
3.3 Kamera umístěna staticky vedle sériového robota .....	20
3.3.1 Skládání jednotvárných objektů u staticky umístěné kamery robota .....	20
3.3.2 Skladování různorodých objektů u staticky umístěných kamer robota .....	21
3.3.3 Eliminace chybných objektů u robotických pracovišť staticky umístěných kamer .....	22
3.4 Kamerové systémy u paralelních robotů (typu delta) .....	23
4 Seznámení s NI Vison Builder AI 2015 ® .....	24
4.1 Základní parametry VBAI .....	25
4.2 Popis jednotlivých inspekčních kroků VBAI .....	26
5 Kompletní návrh inspekce .....	27
5.1 Použitá výpočetní technika a komponenty .....	27
5.1.1 Průmyslové kamery pro strojové vidění a objektivy .....	28
5.1.2 Zelený liniový (křížový) laser .....	28
5.1.3 Průmyslové PC (IPC) .....	29
5.1.4 PLC a Switch s PoE porty .....	29
5.2 Návrh inspekce sítka pomocí liniových laserů .....	30



5.3	Blokové zapojení komponent pro kontrolu sítku .....	31
5.4	Umístění kamerového systému na rameno robota .....	32
5.5	Návrh vizualizace pro kamerovou kontrolu sítku.....	32
5.6	Návrh inspekce a ověření kroků inspekce sítku v Matlab GUI .....	34
5.7	Popis jednotlivých kroků úpravy obrazu sítku v Matlab GUI.....	36
5.7.1	Práhování (Binarizace) obrázku sítku.....	36
5.7.2	Zvýraznění čar laseru .....	36
5.7.3	RGB histogram obrázku sítku .....	37
5.7.4	Zvýšení jasu obrázku sítku .....	37
5.7.5	Detekce čar laseru a jejich vyhodnocení OK/NOK v oblasti zájmu .....	38
5.7.6	Detekce čar laseru a vyhodnocení OK/NOK pomocí Houghových čar .....	39
5.8	Porovnání dob funkcí úpravy obrazu v Matlabu a VBAI.....	40
6	Realizace aplikace strojového vidění pro robotické pracoviště .....	42
6.1	Robotické pracoviště pro výrobu brzdových třmenů .....	42
6.2	Nastavení průmyslové kamery Basler.....	43
6.3	Nastavení dvou průmyslových kamer Basler v jedné síti .....	44
6.4	Použité filtry pro inspekci sítku.....	45
6.5	Použitý osvětlovač pro inspekci sítku .....	46
6.6	Nastavení I/O pro komunikaci s VBAI v TIA portálu .....	47
6.7	Nastavení převodníku Moxa Profibus/Modbus.....	51
6.8	Nastavení I/O pro komunikaci ve VBAI.....	53
6.9	Popis jednotlivých částí programování ve VBAI.....	54
6.9.1	Inicializace programu pro strojové vidění ve VBAI .....	54
6.9.2	Program na inspekci celé formy ve VBAI .....	55
6.9.3	Program na inspekci natočení sítěk ve VBAI .....	56
7	Ověření funkčnosti aplikace a zobrazení výsledků .....	57
7.1	Ověření funkčnosti aplikace.....	57
7.2	Zobrazení výsledků realizace .....	58
8	Závěr .....	60
	Citovaná literatura.....	61

Seznam příloh.....	63
Elektronická příloha na CD I. ....	63

## Seznam použitých symbolů a zkratek

<b>PLC</b>	Programmable logic controller.
<b>NI LabVIEW®</b>	Virtuální prostředek pro programování v grafickém modu.
<b>PC</b>	Osobní počítač.
<b>RS 232, 485</b>	Sběrnice dálkového přenosu dat.
<b>LAN</b>	Local area network.
<b>I/O</b>	Vstupně výstupní porty.
<b>SCADA</b>	Supervisory control and data acquisition.
<b>HMI</b>	Human- machine interface.
<b>SW</b>	Software.
<b>HW</b>	Hardware.
<b>Windows®</b>	Operační systém od firmy Microsoft®.
<b>VBAI</b>	Vision Builder for automation industry.
<b>CPU</b>	Central processing unit.
<b>GUI</b>	Graphical user interface.
<b>Matlab</b>	Matrix laboratory.
<b>PROFIBUS</b>	Průmyslová komunikační sběrnice založená na technologii RS485.
<b>ModBus</b>	Protokol pro vzájemnou komunikaci různých zařízení (Master/slave).
<b>RGB</b>	Red, green, blue – Barevný model aditivního míchání barev.
<b>PoE</b>	Napájení po datovém síťovém kabelu.
<b>IPC</b>	Průmyslový počítač.
<b>OCR</b>	Optické rozpoznání znaků.
<b>USB</b>	Universal serial bus.
<b>OK/NOK</b>	OK – Správná inspekce, NOK = NG (Not Ok) – špatný výsledek inspekce.
<b>GigE Vision</b>	Gigabitový interface standard pro průmyslové kamery.
<b>LED</b>	Polovodičová elektronická součástka vyzařující světlo.
<b>RAM</b>	Rychlá polovodičová paměť s přímým přístupem pro čtení a zápis.
<b>.csv</b>	Jednoduchý souborový formát pro tabulková data.
<b>LAD</b>	Standardní réleový programovací jazyk PLC.
<b>TIA portal</b>	Tottally integrated automation – vývojové studio pro PLC od Siemens.
<b>PR</b>	Průmyslový robot.
<b>mm/s</b>	Milimetry za sekundu.
<b>px</b>	Picture element – nejmenší bezrozměrná jednotka digitálního obrázku.
<b>fps</b>	Frame per second – rychlost snímků za sekundu.
<b>IP</b>	Stupeň krytí.
<b>IP adresa</b>	Číslo, které jednoznačně identifikuje síťové rozhraní v síti.
<b>HDMI</b>	High definition multi media interface – zkratka pro přenos zvuku a obrazu.
<b>VGA</b>	Video graphics array – starší standard pro počítačovou zobrazovací techniku.
<b>ROI</b>	Region of interest – Oblast zájmu.
<b>Baud</b>	Jednotka modulační rychlosti. Počet změn stavu za sekundu.
<b>Tick</b>	Mezera mezi dvěma vedlejšími pakety u přenosu dat v průmyslové kameře.

## Seznam ilustrací

Obrázek 1 Inspekce produktů na výrobní lince [1] .....	16
Obrázek 2 Kamerový systém použitý na inspekci řízení dopravy [1].....	16
Obrázek 3 Systém zpracování obrazu v kameře Basler [1].....	17
Obrázek 4 Ukázka robotického pracoviště s výrobní linkou od firmy Mitsubishi [2] .....	18
Obrázek 5 Kamera umístěna na robotovi při inspekci na robotickém pracovišti [3] .....	19
Obrázek 6 Obsluha robotického pracoviště nezasahuje v blízkosti pracovního prostoru robota [4] ....	20
Obrázek 7 Třídění předmětů pomocí robota od firmy KUKA a umístěné kamery Siemens [5].....	21
Obrázek 8 Ukázka třídění předmětů podle barev pomocí staticky umístěné kamery [4].....	21
Obrázek 9 Eliminace zmetků pomocí kamery od COGNEX a rychlé uchycení pomocí robota [3] .....	22
Obrázek 10 Zapojení paralelního robota a kamery [6].....	23
Obrázek 11 Ukázka navrhnuté aplikace pro inspekci ve VBAI [7] .....	24
Obrázek 12 Rozmístění oken funkcí ve VBAI designer .....	25
Obrázek 13 Rozmístění oken funkcí ve VBAI Inspection mode .....	25
Obrázek 14 Drátěné kulaté sítko .....	27
Obrázek 15 Kamera Basler a objektiv Basler [8] a [9] .....	28
Obrázek 16 Zelený křížový liniový laser [10].....	28
Obrázek 17 Kryt na kameru a IPC [11].....	29
Obrázek 18 PLC a Switch s PoE porty [12] a [13] .....	29
Obrázek 19 Testování a návrh funkce natočení sítka pomocí liniových laserů .....	31
Obrázek 20 Blokové schéma zapojení jednotlivých komponent pro kamerovou kontrolu sítka .....	31
Obrázek 21 Upevnění kamer a liniových laserů .....	32
Obrázek 22 Návrh vizualizace dat inspekce na LCD monitor a úspěšnost inspekce .....	33
Obrázek 23 Návrh grafického prostředí v Matlab GUI.....	34
Obrázek 24 Ukázka vizualizace úpravy obrazu v Matlab GUI.....	35
Obrázek 25 Výstřižek z Matlab GUI - Binarizace obrázku sítka .....	36
Obrázek 26 Výstřižek z Matlab GUI - Zvýraznění hran laseru.....	37
Obrázek 27 Výstřižek z Matlab GUI - RGB histogram zvoleného sítka .....	37
Obrázek 28 Výstřižek z Matlab GUI – Zvýšení jasu obrázku sítka .....	38
Obrázek 29 Výstřižek z Matlab GUI – Detekce čar laseru s vyhodnocením OK/NOK .....	39
Obrázek 30 Výstřižek z Matlab GUI – Metoda vyhodnocení OK/NOK pomocí Houghovy transformace a vykreslení obrysu čar laseru .....	40
Obrázek 31 Výstřižek z VBAI – Převod barevného obrázku sítka na obrázek binární .....	41
Obrázek 32 Výstřižek z VBAI Runtime – Rychlost vyhodnocení snímků sítka v čase.....	41
Obrázek 33 Ukázka robotického pracoviště pro výrobu brzdných třmenů .....	42
Obrázek 34 Cyklus procesu robota .....	43
Obrázek 35 Spojení PC a průmyslové kamery přes IP adresu [1] .....	43
Obrázek 36 Zadání IP adresy pro komunikaci v protokolu TCP/IPv4.....	44
Obrázek 37 Schéma zapojení 2 kamer (vlevo) a přepínání paketů dat z kamer (vpravo) .....	44

Obrázek 38 Detail délky paketu pro přenos dat z kamery .....	45
Obrázek 39 Barevný obrázek bez červeného filtru (vlevo) a převod na grayscale obrázek (vpravo)....	45
Obrázek 40 Barevný obrázek se zeleným filtrem (vlevo) a převod na grayscale obrázek (vpravo).....	46
Obrázek 41 Osvícení sítka před kamerou pomocí 4 dílného systému LED .....	47
Obrázek 42 Propojení PLC přes protokol ProfiBus s převodníkem Profibus/ModBus v TIA [14] .....	48
Obrázek 43 Ukázka části programu v Main OB - ovládání kamer a laserů v TIA portalu .....	49
Obrázek 44 Blokové zapojení komunikace ModBus z PLC (Master) přes převodník Moxa do průmyslového počítače (Slave) .....	51
Obrázek 45 Nastavení komunikace Profibus/ModBus v převodníku Moxa .....	52
Obrázek 46 Čtení výstupních bitů z PLC přes ModBus ve VBAI .....	53
Obrázek 47 Zápis vstupních bitů do PLC z VBAI .....	53
Obrázek 48 Rozdělení programu pro inspekci ve VBAI do 3 částí .....	54
Obrázek 49 Ukázka rozhodovací logiky při zápisu směn .....	55
Obrázek 50 Ukázka inspekčních funkcí použitých na sítku.....	56
Obrázek 51 Vyhledávání obrázků a reportů na disku .....	57
Obrázek 52 Výstřižek z tabulky dat reportu po inspekci .....	57
Obrázek 53 Testování obrázků a rozdělení do jednotlivých složek .....	58
Obrázek 54 Ukázka výsledků realizace – Robot s kamerovým systémem při inspekci sítka [17] .....	58
Obrázek 55 Ukázka výsledků realizace – Inspekce sítka v detailu [17] .....	59
Obrázek 56 Ukázka vizualizace dat při inspekci sítka .....	59

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Popis jednotlivých inspekčních kroků ve VBAI .....	26
Tabulka 2 Základní parametry průmyslové kamery a obejektivu [8] a [9] .....	28
Tabulka 4 Základní parametry zeleného křížového laseru [10] .....	28
Tabulka 5 Základní parametry IPC [11] .....	29
Tabulka 6 Základní parametry PLC [12] .....	30
Tabulka 7 Základní parametry Switch [13].....	30
Tabulka 8 Doba zpracování funkcí v Matlab v čase .....	35
Tabulka 9 Ukázka I/O tagu z PLC a I/O z VBAI.....	50
Tabulka 10 Typ přenášených dat pro komunikaci ModBus.....	52
Tabulka 11 Kódy základních funkcí pro komunikaci ModBus.....	52

# 1 Úvod

Strojové vidění je v dnešní době čím dále více využívanou technologií v automatizaci. Většina odborníků a pracovníků moderních firem z odvětví automatizace se snaží tyto možnosti kontroly při výrobě a v průmyslu implementovat do svých nových projektů. Firmy, které tyto kamerové kontroly využívají, mají poté na oplátku rozsáhlejší možnosti zvyšovat kvalitu výroby jejich produktů. Strojové vidění je navíc nedílnou součástí pro rozvoj nového moderního trendu nazývaného „Průmysl 4.0.“

Robotická pracoviště jsou dnes součástí většiny fabrik pro automobilový průmysl, v budoucnosti se však bude ubírat všemi směry průmyslových odvětví. Bude docházet k robotizaci na pracovištích, kde je práce pro člověka nebezpečná nebo těžká a náročná. Strojové vidění je pro robota něco jako lidské oko a díky němu má ještě více možností pracovat samostatněji a autonomně. Takovéto robotické pracoviště s využitím strojového vidění mohou být rozdělena podle umístění kamery, podle typu robota a podle funkce výrobního procesu.

Zadáním diplomové práce bylo sestavit, zrealizovat a otestovat kamerový systém určený pro kamerovou inspekci výrobku. Projekt byl vytvořen pro firmu zabývající se výrobou brzdových třmenů. Kamerový systém bylo potřeba umístit na rameno robota ABB IRB 6600. Průmyslové kamery by podle zadání projektu měly kontrolovat stav celé formy pro výrobu brzdových třmenů. V dalším kroku tento systém strojového vidění měl zaostřit oblast licího otvoru bez vloženého filtru robotem. V posledním kroku bylo potřeba detekovat správné usazení filtru (sítka) v licím otvoru formy. Po těchto akcích je důležité rozhodnout logikou OK/NOK (dobrý/špatný), jestli je filtr správně zasazen v licím otvoru. Všechny fotky z inspekce je nutné uložit na externí disk a taktéž vytvořit report z každé kontroly. Součástí projektu by měla být vizualizace dat s aktuálními snímky inspekce. Vizualizace je graficky vykreslena v barvách firmy. Vizualizace je vytvořena ve dvou jazycích (čeština a angličtina). Na řízení kamer je použit místní PLC systém od společnosti Siemens - Simatic S7-1200, který zároveň řídí pohyby celého robota a tím i inspekční kroky. Samotný program je napsán pomocí stavových diagramů ve VBAI a společně s aplikací je uložen na průmyslovém PC. PLC je určen v rámci komunikace přes protokol ModBus jako MASTER a Průmyslový PC by měl být v režimu SLAVE. Celý projekt je potřeba navrhnout tak, aby vydržel vysoké teploty uvnitř fabriky na výrobu brzdových třmenů. Je požadována vysoká odolnost kamerového systému vůči prachu a kapalině. Je zcela důležité, aby průmyslové kamery pracovaly ve dne i v noci. Jelikož se v této firmě pracuje stylem 3směnného provozu, tak je potřeba, aby byl systém kamer připraven na nepřetržitou kontrolu.

## **2 Strojového vidění pro průmyslové využití**

Strojové vidění je název užívaný pro průmyslové systémy automaticky zpracující obraz z kamer. Na základě jeho následného vyhodnocení pak tyto systémy vykonávají automatizovanou činnost. K těmto činnostem patří zejména vyřazení vadných produktů z výroby, upozornění obsluhy stroje na chybu, kontrola počtu výrobků a následná úprava nastavení výrobní linky.

Cílem strojového vidění je nahrazení subjektivního posouzení člověka, případně vyšší úroveň automatizace výrobního procesu. Uplatnění strojového vidění se nachází zejména v oblastech kontroly kvality ve výrobě, v automatizaci na kompletačních linkách a v systémech bezpečnosti pro identifikaci osob nebo vozidel.

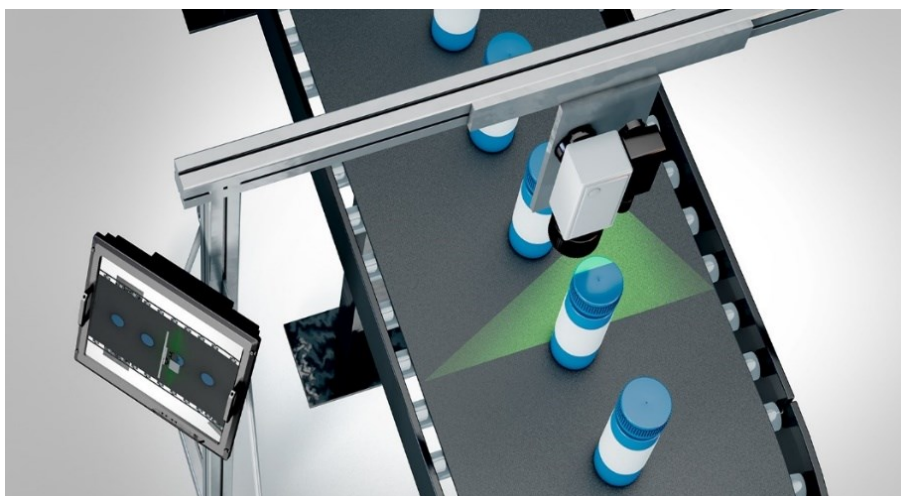
### **2.1 Rozdělení strojového vidění podle použití v průmyslu**

Strojové vidění lze použít v mnoha oblastech. Nejčastější použití je ve výrobě, dopravě a v bezpečnostních systémech. Stranou však nezůstávají ani vědeckovýzkumné aplikace, sportovní záznamy a biologické aplikace. [1]

#### **2.1.1 Strojové vidění ve výrobním průmyslu**

Obvyklé použití kamerových systémů je například v elektrotechnickém průmyslu při kontrole desek s plošnými spoji, v automobilovém průmyslu při kontrole přítomnosti a kvality dílů. Taktéž tyto systémy lze použít v balírnách při kontrole počtu kusů v balení a inspekci potisků (podle obrázku číslo 1). Jednotlivá odvětví jsou vypsána níže:

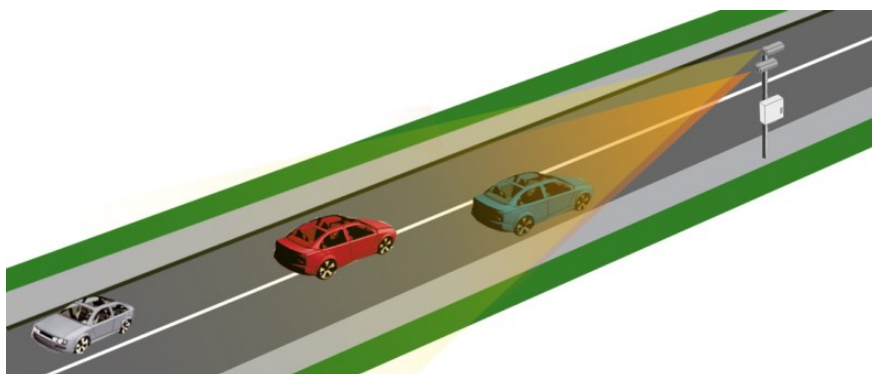
- Polovodičový průmysl
- Automobilový průmysl
- Tisk obalů
- Medicína
- Kontrola potravin
- Solární průmysl
- Kontrola léků



**Obrázek 1 Inspekce produktů na výrobní lince [1]**

### **2.1.2 Strojové vidění a inteligentní dopravní systémy**

Kamery pro inteligentní dopravní systémy poskytují nekomprimovaný obraz s vysokým kontrastem a přesností zobrazení. Tyto systémy jsou uzpůsobeny pro čtení a kontrolu registračních poznávacích značek (na obrázku číslo 2). Typickými aplikacemi jsou tyto systémy vybavovány v mýtných bránách, v radarech a na hraničních přechodech. Pokud však je vyžadováno vidět obraz v přímém přenosu, je použito IP kamer s kompresí obrazu. [1]



**Obrázek 2 Kamerový systém použitý na inspekci řízení dopravy [1]**

- Mýtné systémy a kontrola hranic
- Inspekce kvality povrchu
- Vážní systémy a vjezdové systémy
- Inteligentní řízení dopravy a měření rychlosti
- Sledování nebezpečných nákladů



### 2.1.3 Vojenské, bezpečnostní aplikace a výzkum

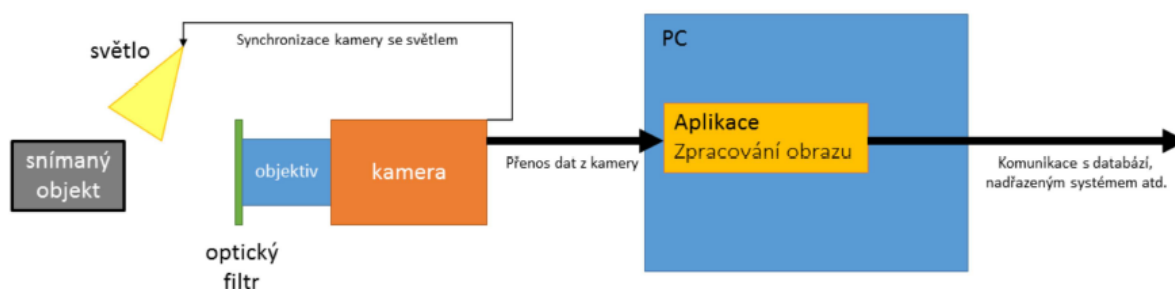
Pro svoji robustnost, citlivost a kvalitu obrazu jsou kamery pro strojové vidění použity taktéž v bezpečnostních a vojenských aplikacích, nebo také v leteckém snímání. Velký důraz je kladen na odolnost komunikační linky, proto se v mnoha zařízeních stále používají kamery s analogovým přenosem signálu na monitor. V dalších případech lze strojové vidění zapojit v oblasti výzkumu různých forem jako například: věda, biomedicína, sport nebo chemické analýzy. [1]

## 2.2 Kamerový a datový řetězec

### 2.2.1 Základní popis

Obvyklý kamerový řetězec je složen z několika částí: Světelný zdroj osvětluje snímáný objekt požadovaným způsobem. Obraz se pomocí optické soustavy vykreslí na světlo-citlivý senzor kamery. Kamera obraz převede do digitální podoby a pošle jej přes komunikační sběrnici do nadřazeného PC, kde je obraz vyhodnocen. Následně je provedena komunikace s databází a následné povely do řídicího systému. Je-li však kamera zařazena do řady inteligentních kamer, vyhodnocený obraz se dále neposílá do PC. Podle obrázku číslo 3 je zobrazen systém zpracování obrazu v kameře Basler.

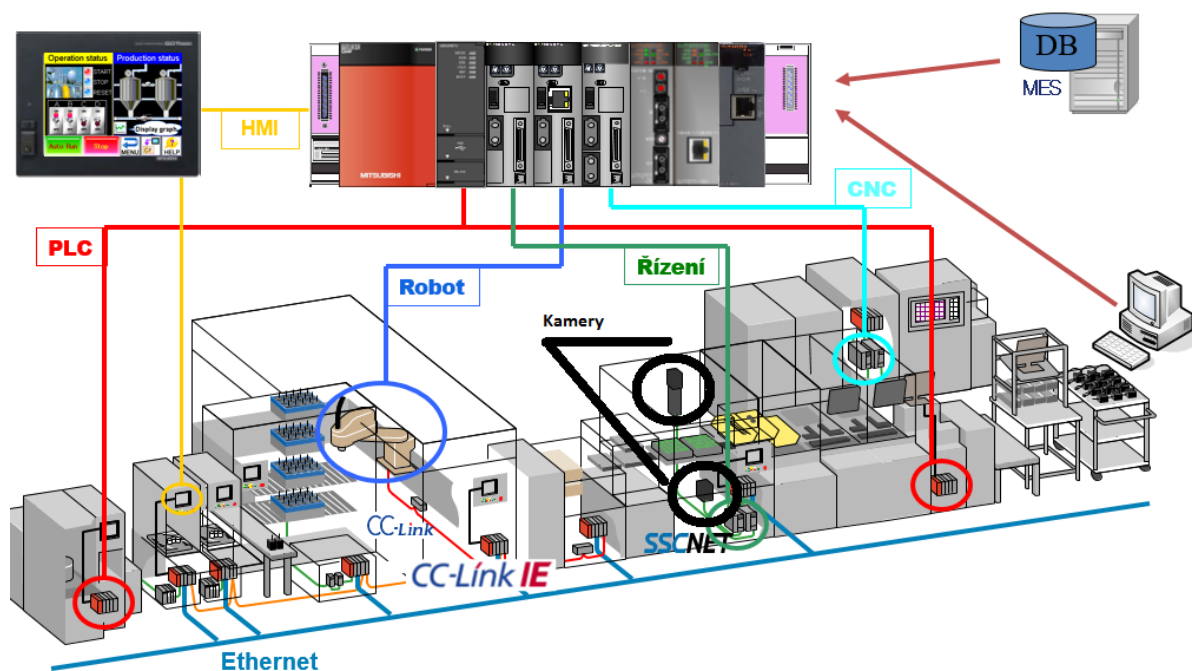
Správně navržený a realizovaný kamerový systém má eliminovat lidský faktor při kontrole kvality a měl by umožnit zvýšení frekvence a spolehlivost inspekce. Tímto způsobem je snížen náklad na personál a taktéž je udržena kvalita výroby. Proto ekonomická návratnost kamerového systému je obvykle splacena v řádu několika měsíců od zakoupení kamerového systému.



Obrázek 3 Systém zpracování obrazu v kameře Basler [1]

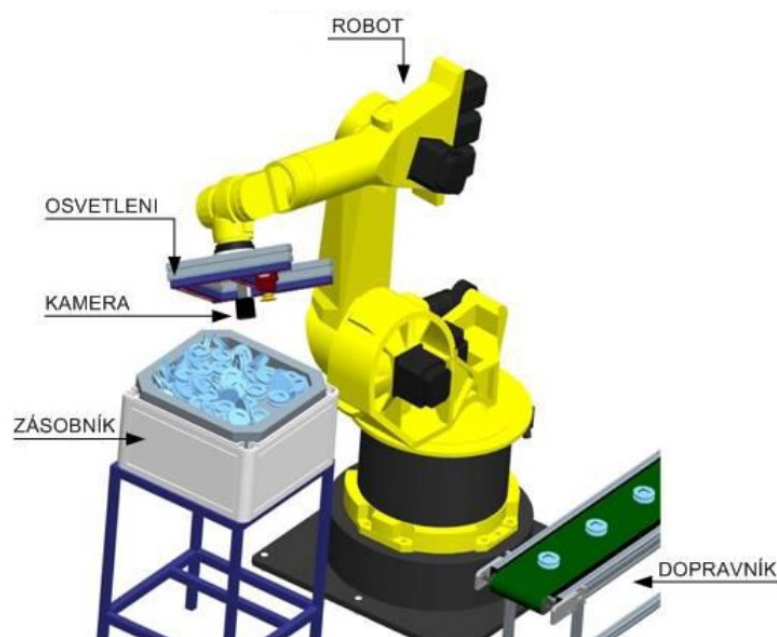
### 3 Analýza použití strojového vidění na robotickém pracovišti

#### 3.1 Struktura robotického pracoviště



Obrázek 4 Ukázka robotického pracoviště s výrobní linkou od firmy Mitsubishi [2]

Nejčastějším využitím kamer v robotických pracovištích je všeobecná kontrola kvality výrobků, dále pak ke kontrole správných rozměrů vyrobených součástek. Ukázka robotického pracoviště s výrobní linkou je na obrázku číslo 4. Kontrola je vykonána pomocí porovnání referenčních a aktuálních snímků. Další důležitou aplikací kamer v robotických pracovištích je kontrola průběhu jednotlivých technologických procesů. Kromě procesu svařování jednotlivých součástek daného typu lze tyto roboty využít v oblasti manipulace, řezání, broušení, leštění, lepení a lakování. Je důležité při výběru vhodného robota brát na úvahu mnoho faktorů. K nejdůležitějším faktorům patří především nosnost, přesnost, tolerance. [3]

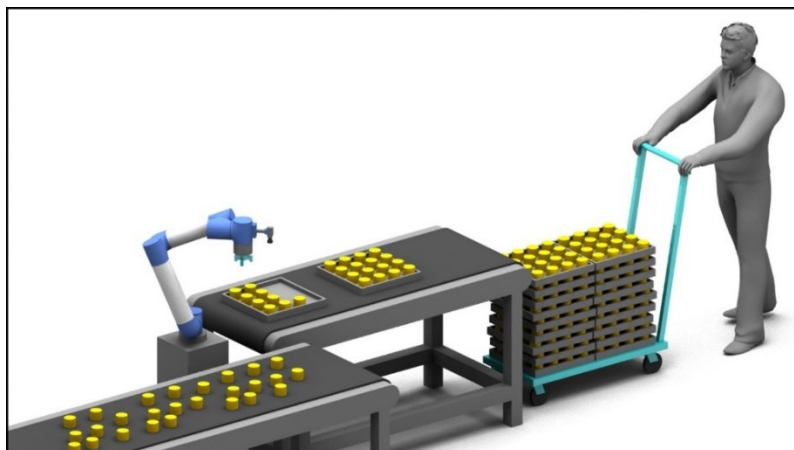


Obrázek 5 Kamera umístěna na robotovi při inspekci na robotickém pracovišti [3]

### 3.2 Kamera umístěná na rameně sériového robota

V dnešní době mají tyto typy robotů široké uplatnění hlavně v oblasti svařovací techniky. Největší rozvoj je především v automobilovém a strojírenském průmyslu. V tomto směru lze takovéto robotická pracoviště využít k práci se tříděním a manipulací součástek. Na obrázku číslo 5 robot pracuje ve všech 6 osách. Kamera je umístěna na rameně robota a volně, chaoticky uložené součástky robot vyhodnocuje, určí jim polohu a následně orientaci. Robot pak vybere potřebné součástky ze zásobníku a přenesení je v rychlosti za chodu na pásový dopravník. K takovému řešení je ke kameře přiřazeno osvětlení pro lepší podmínky pro proces strojového vidění systému. [3]

Další možností využití tohoto umístění kamerového systému je předpoklad udržet bezpečnost práce. Jelikož je bezpečnost práce v každé firmě prioritou číslo jedna, tak lze využít kameru k tomu, aby se obsluha při výrobě nedostala do styku s pracovním prostorem robota. Kupříkladu této činnosti lze označit paletizaci produktů. Samotný proces je ukázán na obrázku číslo 6. [3]



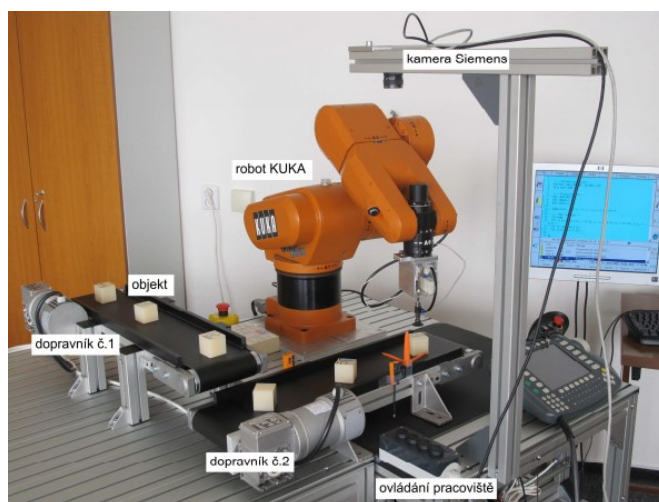
**Obrázek 6 Obsluha robotického pracoviště nezasahuje v blízkosti pracovního prostoru robota [4]**

Robot s připevněným a pevně zafixovaným kamerovým systémem na jeho rameně (hlavici) rozpoznává jednotlivé produkty a umísťuje je na správné místo do krabice. Jakmile jsou krabice naplněny, aktivuje se spínač a dopravní pás se posune směrem dopředu, kde je připravena obsluha, která odváží naplněné krabice k dalšímu zpracování. Poté tento proces začíná znovu od začátku. Při tomto procesu tak obsluha nezasahuje do blízkosti pracovního prostoru robota. Nemusí tak být použita klec ani jiné bezpečnostní prvky na pracovišti. Navíc se k této práci dá použít kamera s minimálním rozlišením. Nejdůležitější je zde nastavit polohování objektu jednotlivých produktů, aby robot uměl objekty rozpoznat, správně uchytit a taktéž je správně umístit do krabice vedle sebe. [4]

### **3.3 Kamera umístěna staticky vedle sériového robota**

#### **3.3.1 Skládání jednotvárných objektů u staticky umístěné kamery robota**

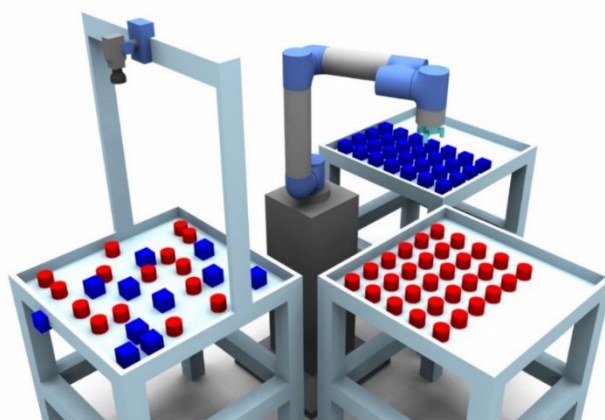
Důležitá je zde především synchronizace pohybu předmětů a vyhodnocení inspekce a následné uchopení předmětu robotem samotným. Kamera zde má funkci senzoru, který je indikátorem pro vyhodnocení situace řídicím systémem. U takového typu robotického pracoviště je využito synchronizace s následujícími prvky: Pásový dopravník, pohybující objekt, en-kodér, kamera a řídicí systém. En-kodér je fyzicky propojen k pásovému dopravníku. Rychlost je pak vypočtena z otáček. Kamera snímá příchozí výrobky a startuje tak proces pro zapnutí robotického ramene. Taktéž kamera uvádí polohu jednotlivých výrobků, pokud se jedná o výrobu s náhodně postupujícími a uspořádanými objekty. V závislosti na rychlosti dopravníku pak robot sbírá a přesunuje dané výrobky na další zpracování. Tento proces má výhodu v tom, že lze s velkou přesností a rychlostí přenášet velké množství výrobků. Ukázka tohoto typu skládání objektů je vyobrazena na obrázku číslo 7.



**Obrázek 7 Třídění předmětů pomocí robota od firmy KUKA a staticky umístěné kamery Siemens [5]**

### **3.3.2 Skladování různorodých objektů u staticky umístěných kamer robota**

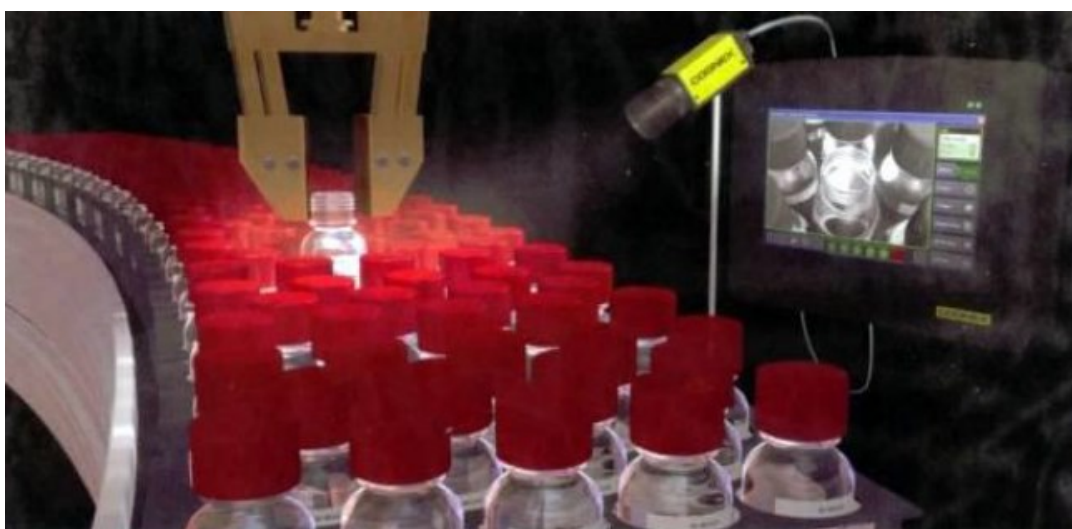
V tomto případě rozlišuje jedna kamera při inspekci různé objekty. Robot pak po vyhodnocení manipuluje s objekty s různými velikostmi nebo barvami. Tato informace musí být předem rychle vyhodnocena kamerou do kontroléru robota. Ten pak uchytne součástku a přemístí ji do dané, předem definované krabice nebo na další pásový dopravník. Nejvíce se této technologie využívá v souvislosti s výrobou na CNC strojích. Kdy CNC stroj může produkovat více součástíek zároveň a pomocí tohoto systému jsou tak součástky rychle rozřazeny. Čím jsou objekty více podobné, tím více je potřeba použít kameru s vyšším rozlišením, aby šlo součástky lépe rozlišit (podle obrázku číslo 8).



**Obrázek 8 Ukázka třídění předmětů podle barev pomocí staticky umístěné kamery [4]**

### 3.3.3 Eliminace chybných objektů u robotických pracovišť pomocí staticky umístěných kamer

Pro vyhodnocení špatných výrobků a dále uchopení těchto „NG“ objektů je taktéž použita technologie propojení staticky umístěné kamery a robotického chapadla. Každý takovýto „NG“ prvek je ve většině případů zobrazen ve vizualizaci, aby jej obsluha mohla posoudit, zda se v předchozím procesu neděje něco špatně. Robot musí na takovýto přesun špatného výrobku rychle reagovat a musí jej přenést tak rychle, aby mohl pokračovat dále v reakcích na další uchopení. Na obrázku číslo 9 je zobrazen proces eliminace špatně zazátkovaných lahví, které jedou v hustém rozpoložení po pásovém dopravníku. [3]



**Obrázek 9 Eliminace zmetků pomocí kamery od COGNEX a rychlé uchycení pomocí robota [3]**

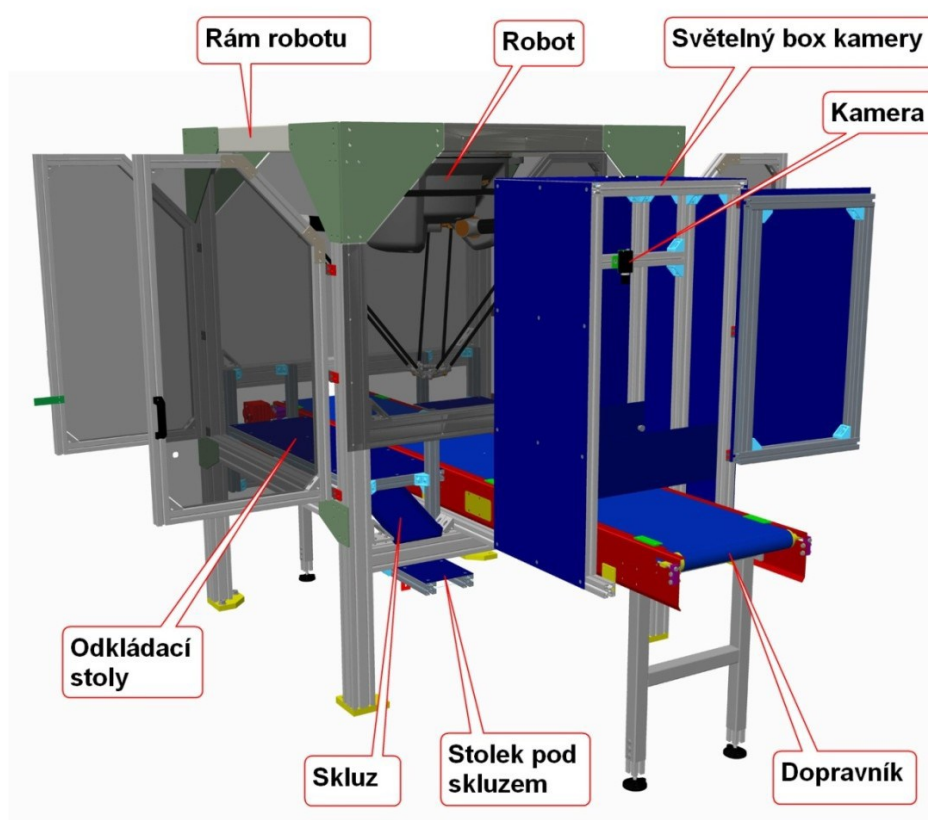
Nejvíce je použita tato technologie při eliminaci chyb následujících výrobních procesů:

- Počítání kusů, kontrola úplnosti a zabalení
- Kontrola sestavení výrobků a montáže
- Identifikace barev
- Rozpoznání tvaru a polohy výrobku
- Čtení a verifikace kódů
- Čtení správně označených textů
- Kontrola povrchů
- Testování funkce výrobku
- Měření a kontrola tolerancí
- Nalezení vad kovových a plastových výlisků



### 3.4 Kamerané systémy u paralelních robotů (typu delta)

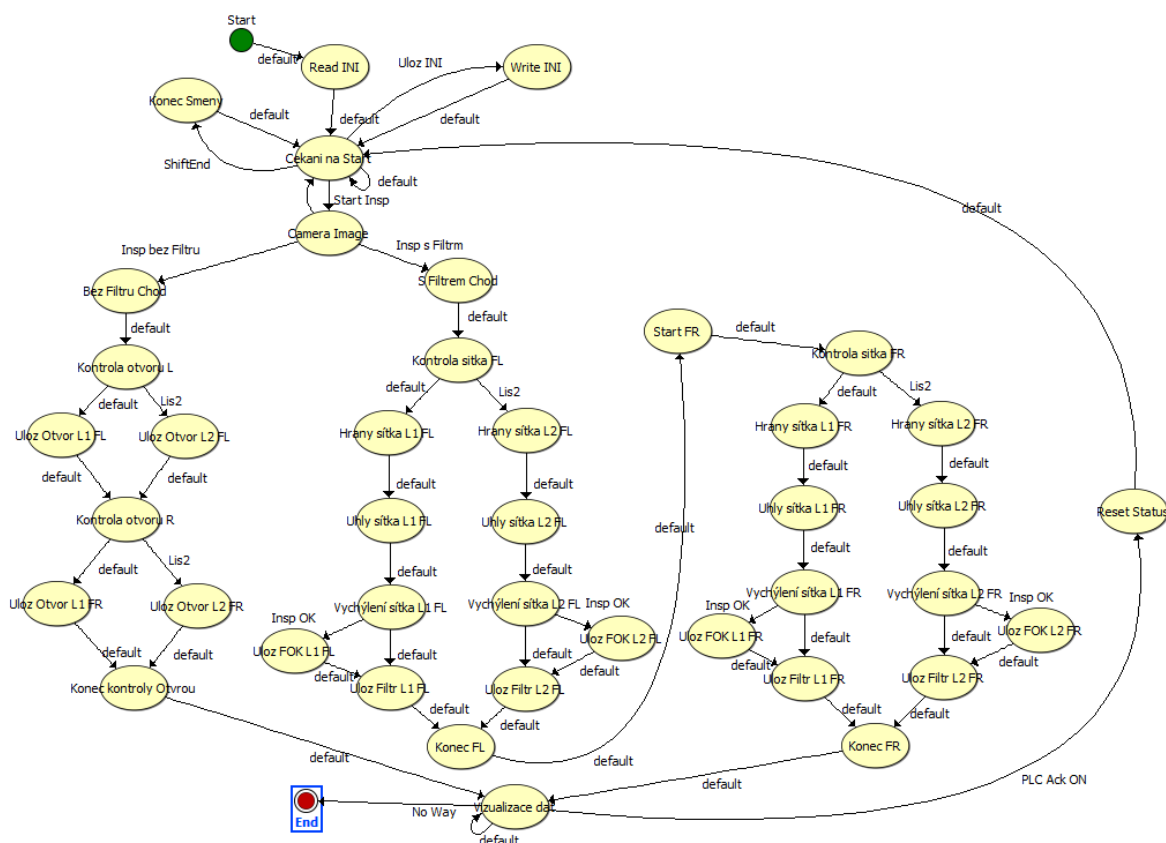
Na rozdíl od sériových univerzálních robotů jsou roboty typu delta specializované pro aplikace odebrání a přemísťování předmětů vysokou rychlostí. Kinematika těchto robotů umožňuje dosáhnout velkých změn polohy koncového bodu při minimálních změnách polohy poháněných kloubů. Vysoká rychlost je dále možná díky lehké pohybující se části skeletu. Maximální rychlost paralelního delta robota je až 10000 mm/s. Této rychlosti robot však většinou nedosáhne z důvodu převážně kratších pohybů a omezeného zrychlení. Na obrázku číslo 10 je zobrazeno zapojení paralelního robota s popisky jednotlivých komponent. [6]



Obrázek 10 Zapojení paralelního robota a kamery [6]

## 4 Seznámení s NI Vison Builder AI 2015 ®

NI Vision Builder, neboli zkráceně VBAI od firmy National Instruments je konfigurovatelný software pro vytvoření, testování a následné reálné nasazení aplikace strojového vidění do provozu. VBAI je navržen tak, aby uživatel nemusel umět programovat. Obsahuje totiž vestavěné rozhraní s mnoha nástroji s grafickým postupem k vypracování aplikace. Aplikace je tvořena jednotlivými kroky. Od nastavení kamery přes zadání kritérií inspekce až do fáze ukládání obrázků je kompletně implementována do uživatelského rozhraní programu. Hodnoty výsledků (prošel/neprošel) jsou poté posílány do PLC nebo jiného řídicího systému, který pak provede další operace. Součástí VBAI je i sw NI Vision Aquisition software, pomocí kterého lze snímat, zobrazovat a ukládat nebo i monitorovat jednotlivé obrázky. VBAI komunikuje s kamerami přes komunikační rozhraní GigE Vision, IEEE 1394, USB a Camera links. Pomocí správně zadané IP adresy kamery lze v podstatě komunikovat s jakoukoli kamerou na průmyslovém trhu. Na obrázku číslo 11 je ukázka rozvrstvené navrhnuté aplikace pro inspekci. [7]

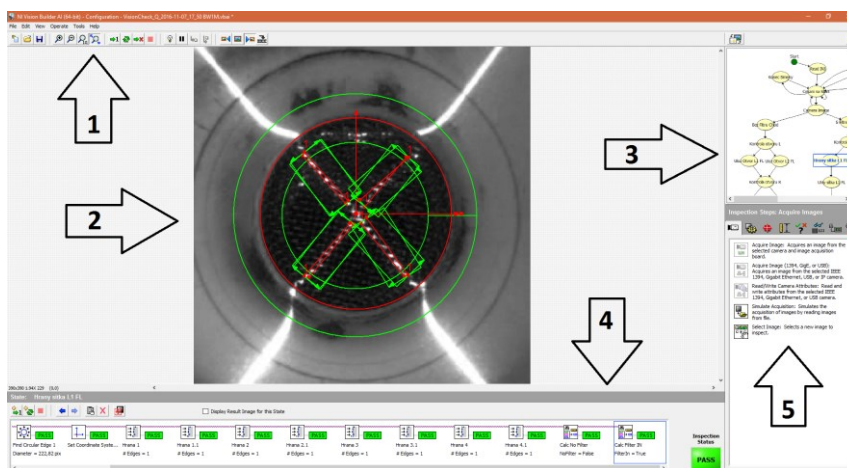


**Obrázek 11 Ukázka navrhnuté aplikace pro inspekci ve VBAI [7]**

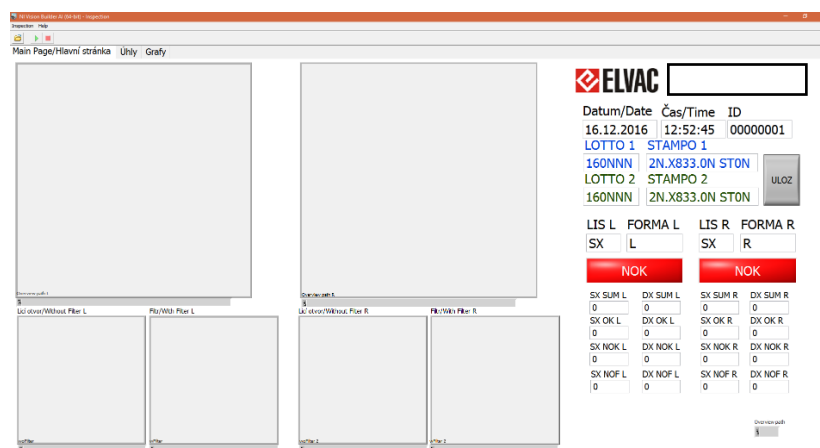


## 4.1 Základní parametry VBAI

VBAI je rozdělen na dvě části. První část je tzv. *Designer mode* a ta druhá je nazvaná *Inspection mode*. V *designer módu* je tvořen program. Je rozložen na 5 listů. Podle obrázku číslo 12 je ukázána každá lišta s jednotlivými funkcemi. Číslo 1 je souhrn všech hlavních funkcí jako například funkce pro otevírání nových nebo již vytvořených programů, zapínání inspekce, Přiblížení a oddálení obrázku. Dále se jedná o funkce ukládání celého programu a postupné krokování programu. Číslo 2 je věnována obrázku s vnořenou funkcí aktuálnímu kroku inspekce. Ve třetí části je zobrazen diagram s rozvětvenými cestami a s podmínkami pro propojení s dalšími diagramy. Šipka číslo 4 ukazuje na jednotlivé funkce inspekce, které jsou vnořeny do každého diagramu. Poslední číslo 5 je výběr jednotlivých funkcí, které jsou pak přidány do palety číslo 4. Obrázek 13 pak zobrazuje *Inspection mode* s vizualizací dané inspekce i se všemi daty.



Obrázek 12 Rozmístění oken funkcí ve VBAI designer



Obrázek 13 Rozmístění oken funkcí ve VBAI Inspection mode

## 4.2 Popis jednotlivých inspekčních kroků VBAI

Jednotlivé inspekční kroky z 5. části obrázku číslo 12 jsou postupně vysvětleny v jednotlivých dílčích tabulkách.

<b>Získání obrazu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Získání obrazu z vybrané složky nebo z kamery</li> <li>• Výběr různých typů kamer</li> <li>• Přepínání jednotlivých inspekcí</li> </ul>	<b>Úprava nasnímaného obrazu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hlavní utilita – Vision Assistant pro úpravu obrazu pomocí několika funkcí</li> <li>• Filtry – (Histogram, konvoluce, rozmazání)</li> <li>• Prahování</li> <li>• Kalibrace obrázku</li> </ul>
<b>Detekce a vyhledávání</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hledání hran a přechodů</li> <li>• Hledání vzorů</li> <li>• Detekce objektů</li> <li>• Nastavování koordinačního systému</li> <li>• Trasování objektů</li> </ul>	<b>Měření objektů</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Měření intenzity a barev</li> <li>• Počítání pixelů objektů</li> <li>• Měření rozměrů pomocí metody výpočtů pixelů v obrázku nebo podle metrických měřítek</li> </ul>
<b>Přítomnost objektů</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokalizace objektů</li> <li>• Hledání kontur objektů</li> <li>• Hledání defektů předdefinovaných objektů</li> <li>• Kontrola textury</li> </ul>	<b>Čtení kódů a identifikace objektů</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rozpoznávání znaků OCR</li> <li>• Čtení 1D a 2D kódů</li> <li>• Klasifikace barev objektu</li> <li>• Klasifikace samotných objektů</li> </ul>
<b>Komunikace s externími zařízeními</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Komunikace s NI měřicími IO kartami</li> <li>• Modbus Slave</li> <li>• Sériová a TCP/IP komunikace</li> <li>• OPC</li> </ul>	<b>Další nástroje na vylepšení aplikace</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalkulačka</li> <li>• Práce s poli</li> <li>• Ukládání do souboru</li> <li>• Logické funkce</li> </ul>

**Tabulka 1 Popis jednotlivých inspekčních kroků ve VBAI**

## 5 Kompletní návrh inspekce

### 5.1 Použitá výpočetní technika a komponenty



**Obrázek 14 Drátěné kulaté sítko**

Mezi hlavní komponenty projektu strojového vidění k inspekci výrobku při výrobě patří:

- Průmyslové kamery
- Robustní a vysoce odolný laser
- Držáky na lasery a vodotěsné kryty na kamery
- Kabeláž – Profibus, Ethernet, průmyslový Ethernet kabel

Výpočetní technika projektu pro správné vyhodnocení a běh programu je zobrazena níže:

- Průmyslové PC (IPC)
- Převodník ProfiBus/ ModBus
- PLC
- Switch s PoE porty

Na obrázku číslo 14 je zobrazeno drátěné kulaté sítko, které je hlavním objektem zájmu této aplikace. Pomocí tohoto sítka a jeho usazení v licím otvoru formy je vyhodnocena inspekce OK/NOK. Aplikace je zcela připravena a je navržena tak, že toto sítko může chybět v licím otvoru nebo je o 180 stupňů otočeno, nebo může být jakýmkoliv způsobem poškozeno.

### 5.1.1 Průmyslové kamery pro strojové vidění a objektivy



Obrázek 15 Kamera Basler a objektiv Basler [8] a [9]

Základní parametry průmyslové kamery	
Kamera Basler	acA1600-60 gm - GiGe
Rozlišení	1602 x 1202 px
Rychlost snímkování	60 fps
Interface	GigE
Synchronizace	Externí spouštění,
Napájení	PoE nebo 12 V

Tabulka 2 Základní parametry průmyslové kamery a objektivu [8] a [9]

### 5.1.2 Zelený liniový (křížový) laser



Obrázek 16 Zelený křížový liniový laser [10]

Základní parametry zeleného křížového laseru	
Laser	LAP HYL52
Typ laseru	Zelená dioda
Typ paprsku	křížový
Úhel rozsahu	62 stupňů
Vlnová délka laseru	520 nm
Stupeň krytí	IP 67
MTTF	30000 h při 25 °C

Tabulka 3 Základní parametry zeleného křížového laseru [10]

### 5.1.3 Průmyslové PC (IPC)



Obrázek 17 Kryt na kameru a IPC [11]

Základní parametry IPC	
IPC	IEC Stabil PRO NISE 3600E
Procesor	Intel, Core i3
RAM	4 GB, DDR3
Úložiště dat	1x 2.5" SATA SSD 40 GB
Ethernet	Duální Intel GbE LAN porty
Další interface	4x USB 3.0, 5x RS232, 1x RS422, 485, 232
Pracovní teplota	-5 °C až 55 °C

Tabulka 4 Základní parametry IPC [11]

### 5.1.4 PLC a Switch s PoE porty



Obrázek 18 PLC a Switch s PoE porty [12] a [13]

<b>Základní parametry PLC</b>	
Název, parametr	Siemens S7-1211 DC/DC/DC
Procesor	1211C DC/DC/DC
Počet I/O	Max. 8, 4+4
Programová paměť	1 MB
Rozhraní	TJ45, RS 232, RS 485
Podporované protokoly	TCP/IP, ISO-TCP, Modbus Master/Slave
Provozní napětí	24 V/DC

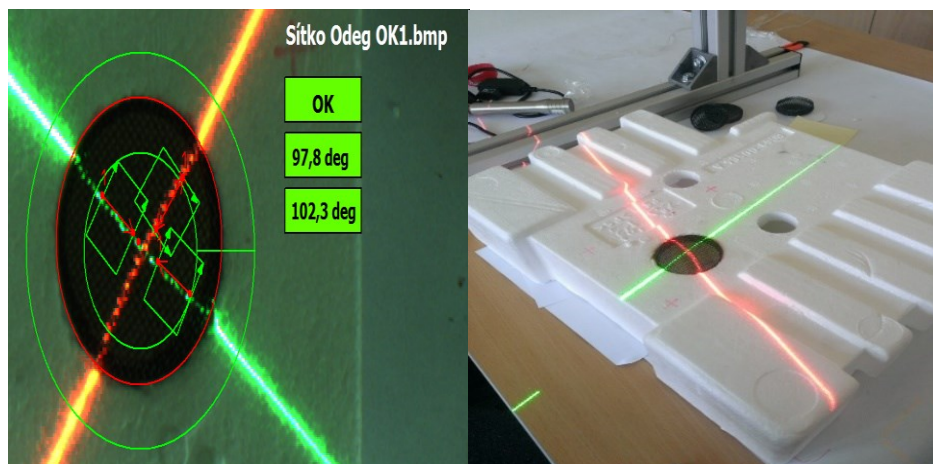
**Tabulka 5 Základní parametry PLC [12]**

<b>Základní parametry Switch</b>	
Název, parametr	D-LINK DGS-1008P
Porty	8 portů 10/100/1000 Mbps
PoE porty	4 porty PoE
RAM buffer	256 KB na jedno zařízení
Maximální zatížení PoE portů	68 W
Operační teplota	0 °C až 40 °C
Napájecí napětí	53,5 V/ 1,5 A

**Tabulka 6 Základní parametry Switch [13]**

## 5.2 Návrh inspekce sítka pomocí liniových laserů

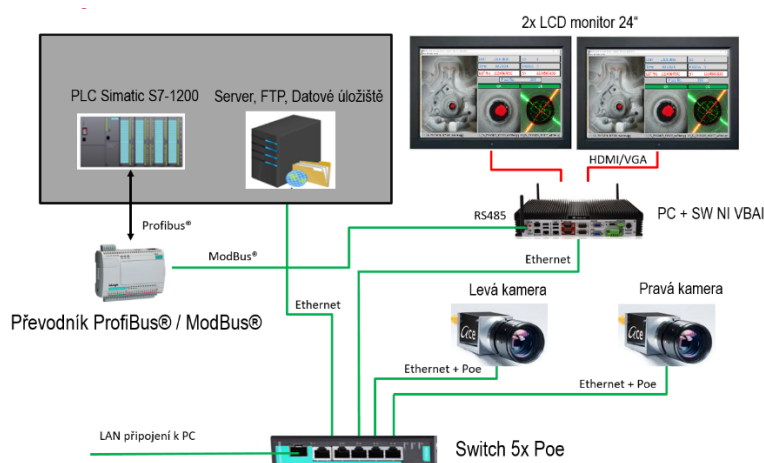
Návrh inspekce natočení sítka byl nasimulován s použitím dvou laserů upevněných na kovovou konstrukci. Lasery byly upevněny tak, aby vytvářely přirozený kříž na ploše. Plocha, která má za úlohu napodobit lící formu, byla vyrobena z polystyrénové desky. Staticky upevněný laser a kamera s 90 stupňovým natočením vůči sítku. Byla provedena inspekce a vyhodnocení v programu VBAI. Jelikož je podle zadání projektu nutno dodržet při lití směsi do formy vychýlení sítka maximálně 10 stupňů, byla provedena zkouška, kdy jsme ručně natáčeli a obraceli sítko. Bylo to hlavně z důvodu nasimulování reálné funkce. Jednalo se o pokus, podle kterého bude inspekce pracovat a vyhodnocovat stavy, kdy je sítko správně vsazeno do formy, a kdy ne. Bylo vyzkoušeno asi 15 stavů, kdy je sítko pomocí laserů vychýleno a stupňů vybočení čar z pravidelné dráhy laseru a kdy ne. Toto vychýlení je jednoznačně vyhodnoceno v VBAI, kdy ke každé čáře, vytvořené laserem, sejme funkce náběžná hrana. Podle této funkce lze každý cyklus správného vkládání sítka do formy jednoduše vyhodnotit. Při tomto pokusu bylo zjištěno, že pro úlohu natáčení sítka je lepší zvolit zelený laser. Na obrázku číslo 19 je ukázána testovací verze snímání sítka podle dvou liniových laserů.



Obrázek 19 Testování a návrh funkce natočení sítka pomocí liniových laserů

### 5.3 Blokové zapojení komponent pro kontrolu sítka

Podle obrázku číslo 20 je bokově navrhnut celý projekt. Základním prvkem je průmyslový počítač, kde je nahrána aktuální verze programu ve VBAI. Počítač je propojen s PLC pomocí RS485 s komunikačním protokolem ModBus . Mezitím je převodník ModBus/ ProfiBus , jelikož PLC má na výstupu protokol Profibus, je nutno tyto dva protokoly během procesu převádět. Taktéž je počítač na výstupu zapojen do 2 LCD monitorů, které slouží jako vizualizace OK/NOK stavů inspekce, ale taky jako zobrazovač směn, času a data, evidenčního čísla každého sítka a jeho ID. Zobrazují i lící díru bez sítka, tak i se sítkem a celkový pohled na formu před vkládáním sítka robotem. Ukládání obrázků z inspekce je vyvedeno do datového úložiště s pamětí 1 TB. Switch s možností PoE napájení + 12 V je použit zejména kvůli komunikaci přes Ethernet a taky kvůli přímému napájení kamer bez dalších externích možností napájení kamer. Kamery jsou zde dvě z důvodu snímání dvou forem během procesu zároveň.

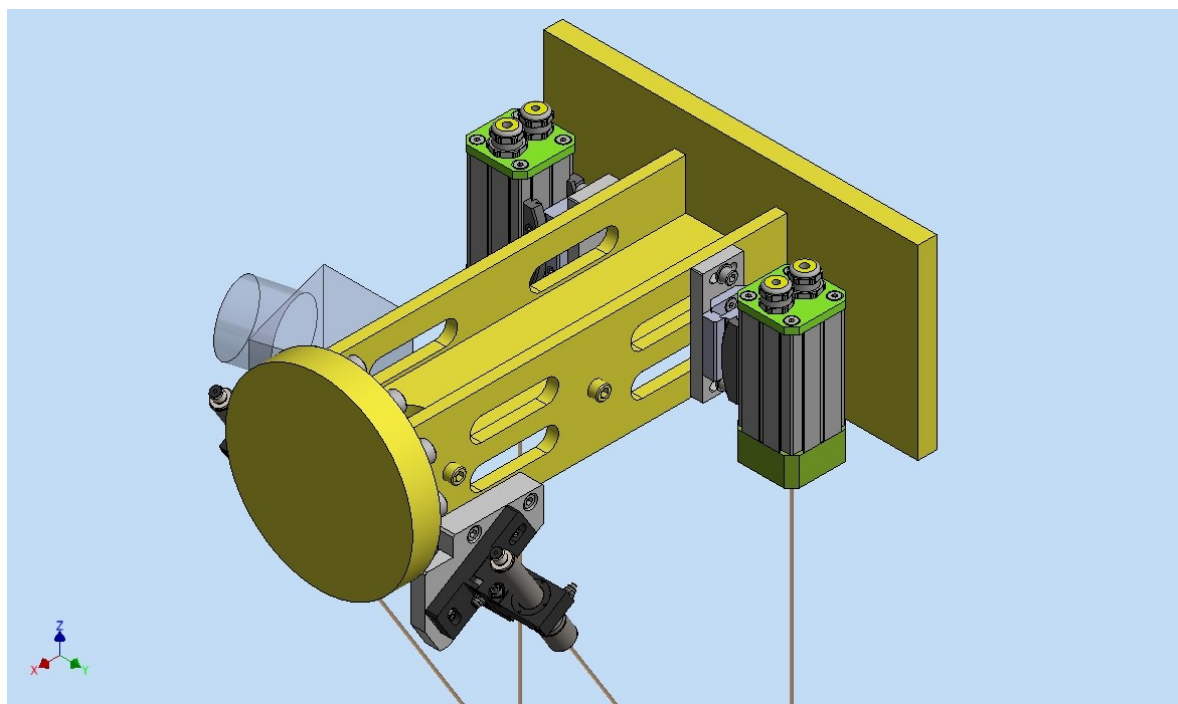


Obrázek 20 Blokové schéma zapojení jednotlivých komponent pro kamerovou kontrolu sítka



## 5.4 Umístění kamerového systému na rameno robota

Kamerový systém je umístěn na rameně robota sériového ABB IRB. Toto umístění je zvoleno z důvodu největší plochy pro vyvrtání děr na uchycení kamer (podle obrázku 21). Dalším důvodem je, že zde vede pneumatická cesta se vzduchem, jež tvoří budoucí systém pro ochlazení kamer. Taktéž v tomto prostoru nemůže dojít k jakémukoli sražení při pohybu s částí robota. V této části se rameno dá otočit kolem celé své osy a tak lze nastavit přesnou vzdálenost kamery od formy s vysokou přesností.

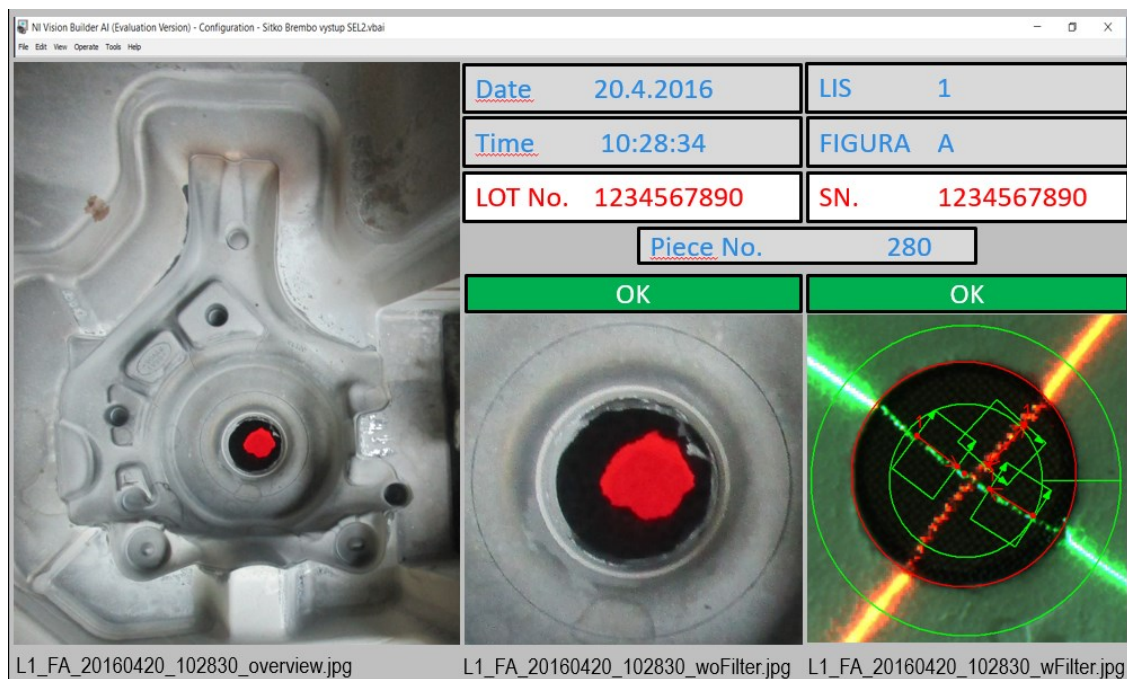


Obrázek 21 Upevnění kamer a liniových laserů

## 5.5 Návrh vizualizace pro kamerovou kontrolu sítky

Vizualizace (podle obrázku číslo 22) je navrhována podle požadavků zákazníka. Obsahuje 3 inspekční okna se snímáním celkového pohledu formy, poté licího otvoru a otvoru vyplněného sítkem. Tato hlavní obrazovka zároveň zobrazuje datum, čas, číslo dané formy a umístění formy. Ještě je zde možnost zapisování směny při výrobě a jejího sériového čísla. Počet zkontrolovaných sítok je realizován čítačem se zobrazením. Indikace OK/ NOK je použita pro kontrolu licího otvoru a pro celkovou inspekci. Na vedlejší obrazovce je zobrazena celková úspěšnost při procesu kontroly. Počet OK a NOK kusů u obou forem je aktualizován s každou inspekcí.





Date	25.4.2016	Time	00:00:01
LOT No.	1234567890	SN.	1234567890
LIS	1		
FIGURE	A	FIGURE	B
Pieces - Total	345	Pieces - Total	345
Pieces - OK	340	Pieces - OK	340
Pieces - NOK	5	Pieces - NOK	5
NOK %	1,44	NOK %	1,44
LIS	2		
FIGURE	A	FIGURE	B
Pieces - Total	345	Pieces - Total	345
Pieces - OK	340	Pieces - OK	340
Pieces - NOK	5	Pieces - NOK	5
NOK %	1,44	NOK %	1,44

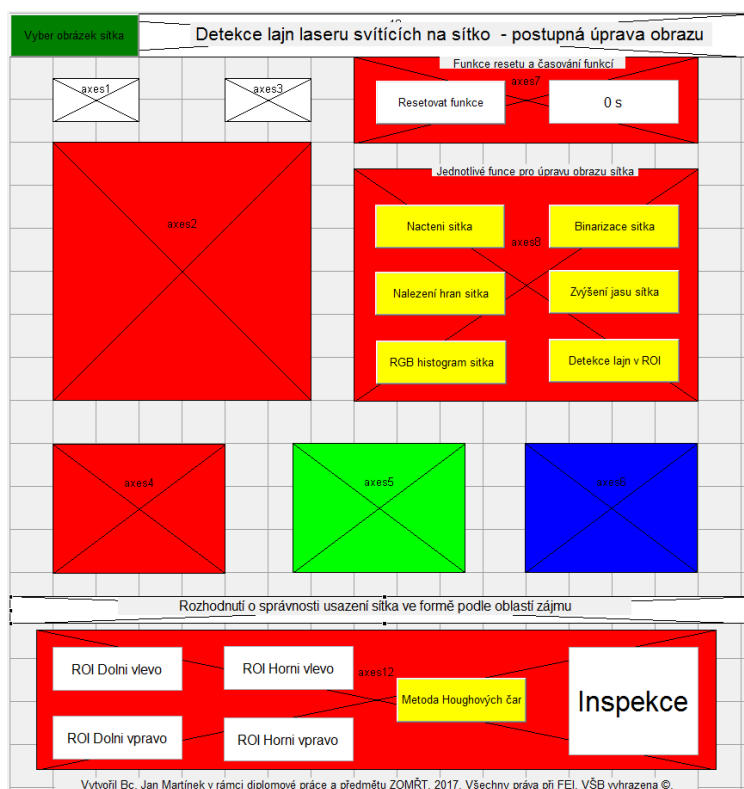
Obrázek 22 Návrh vizualizace dat inspekce na LCD monitor a úspěšnost inspekce

## 5.6 Návrh inspekce a ověření kroků inspekce sítky v Matlab GUI

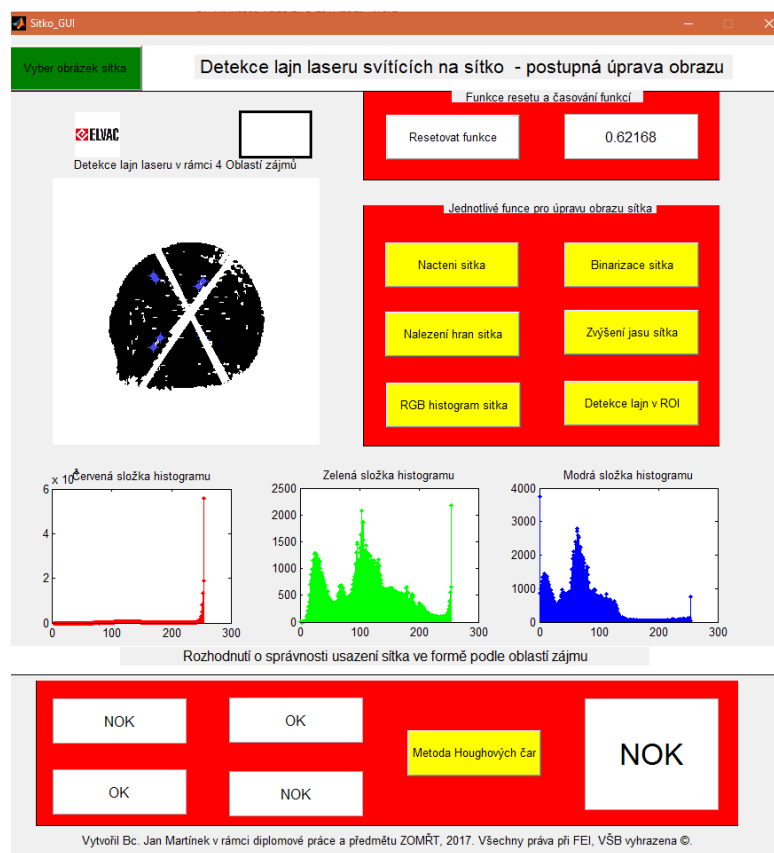
Z důvodu pochopení jednotlivých kroků inspekce při vyhodnocení natočení sítky v licím otvoru byla vytvořena tato aplikace a byla napsána v jazyce Matlab. Mezi hlavní funkce pro úpravu obrázku sítky patří:

- Binarizace obrázku sítky
- Nalezení hran sítky pomocí vybraných metod
- Případné zvýšení jasu pomocí gamma funkce
- Zobrazení RGB histogramu obrázku sítky
- Zvýraznění čar laseru metodou Houghova pravidla a rozhodovací logika OK/NOK

Všechny tyto kroky a úpravy obrázku byly vytvořeny v klasickém prostředí Matlabu. Pro lepší přehled a vizualizaci bylo vytvořeno GUI s grafy a tlačítky pro zapnutí jednotlivých funkcí. Každá funkce má svůj timer pro zjištění doby trvání jejich kódu (podle tabulky číslo 7). V další podkapitole 5.8 je ukázána doba funkcí stejné úpravy obrázku a jejich vzájemné porovnání. V tabulce číslo 7 jsou časy funkcí Matlab GUI zapsány. Na obrázku číslo 23 je zobrazen návrh grafického prostředí v Matlab GUI. Na obrázku číslo 24 je pak zobrazena aplikace v Matlab GUI při inspekci.



Obrázek 23 Návrh grafického prostředí v Matlab GUI



**Obrázek 24 Ukázka vizualizace úpravy obrazu v Matlab GUI**

Nejdéle trvá funkce „Nalezení hran sítka“. Tato funkce je tvořena vnořenou funkcí pro převod barevného obrázku na černobílý obrázek a poté je takto upravený obrázek transformován přes Sobelovu masku. Poté je pomocí vyhledání přechodů bílých a černých bodů zvýrazněna hranice. Tato hranice je zvýrazněním skokových změn černých a bílých bodů obrázku. Naopak nejkratší čas byl vypočítán u funkce „Resetování všech funkcí a grafů“. Jelikož je tato funkce vytvořena pouze z příkazů *cla*, tak je zřejmé, že tato funkce bude mít nejkratší dobu zpracování zdrojového kódu.

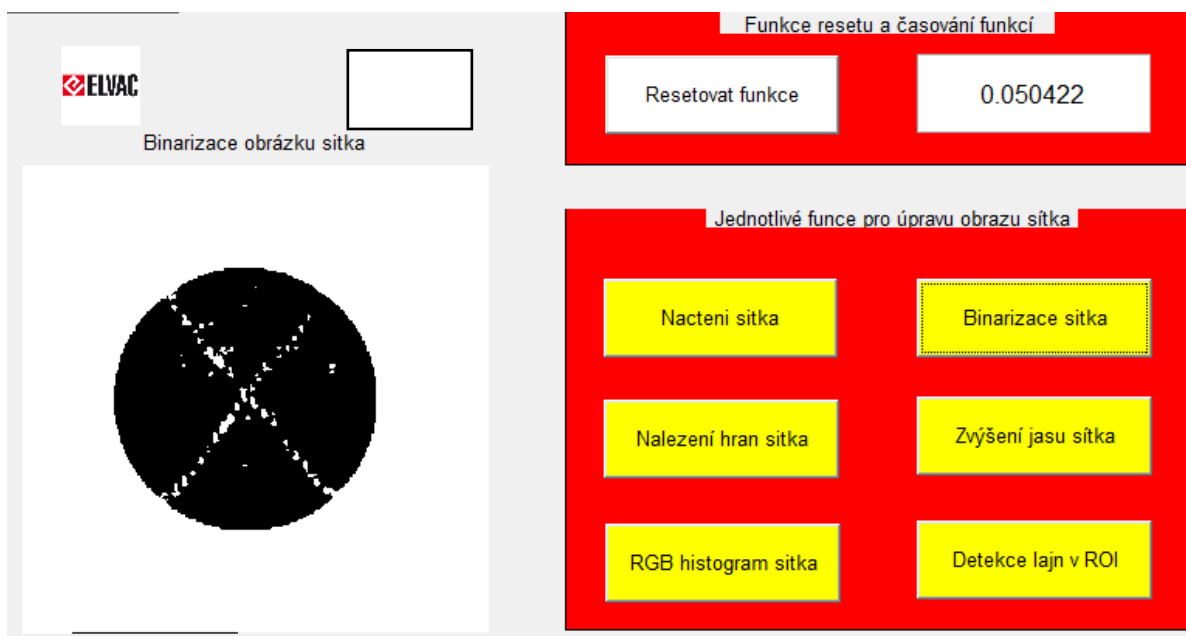
Doba zpracování funkcí pro úpravu obrázku sítka MATLAB GUI v čase [s]	
Načtení obrázku sítka	+/-0,033 s
Binarizace obrázku sítka	+/-0,0586 s
Nalezení hran sítka	+/- 0,6344 s
Zvýšení jasu sítka (gamma)	+/- 0,263 s
RGB histogram obrázku sítka (původní barevný)	+/- 0,544 s
Zvýraznění čar laseru sítka podle Hough vrcholů	+/- 0,076 s
Resetování všech funkcí a grafů	+/-0,016 s
Detekce čar laseru v ROI	+/- 0,62168 s
Metoda Houghových čar a křížů	+/-0,5536 s

**Tabulka 7 Doba zpracování funkcí v Matlab v čase**

## 5.7 Popis jednotlivých kroků úpravy obrazu sítky v Matlab GUI

### 5.7.1 Práhování (Binarizace) obrázku sítky

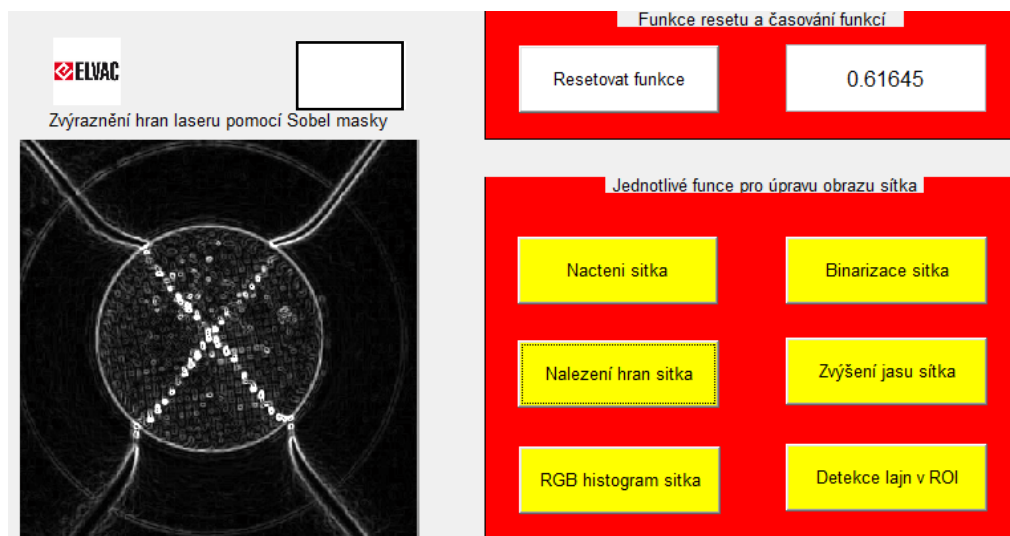
Binarizace je řešena metodou Otsova pravidla. Nejprve se původní barevný obrázek převede do šedého obrázku. Poté se Otsu metodou nalezne určený horní práh podle histogramu. Celý výsledek je vynásoben hodnotou \*256, jelikož by byl výsledek pouze 1 nebo 0. Od tohoto čísla lze pak odečíst míru hystereze pro nejlepší výsledek odstranění šumu a malých částeček bílé barvy sítky. Poté je náhodně vybrán druhý práh. Poslední částí této metody je kompletace binárního obrazu kontrolou příslušností libovolných sousedních bodů. V tomto případě je to 8 sousedních bodů. Výsledek binarizace je vytisknut ve formě nového obrázku, obrázku s binárními hodnotami 0 a 1 (černá nebo bílá). Celková odezva kódu je cca 0,05 s. Zobrazení tohoto kroku je na obrázku číslo 25.



Obrázek 25 Výstřižek z Matlab GUI - Binarizace obrázku sítky

### 5.7.2 Zvýraznění čar laseru

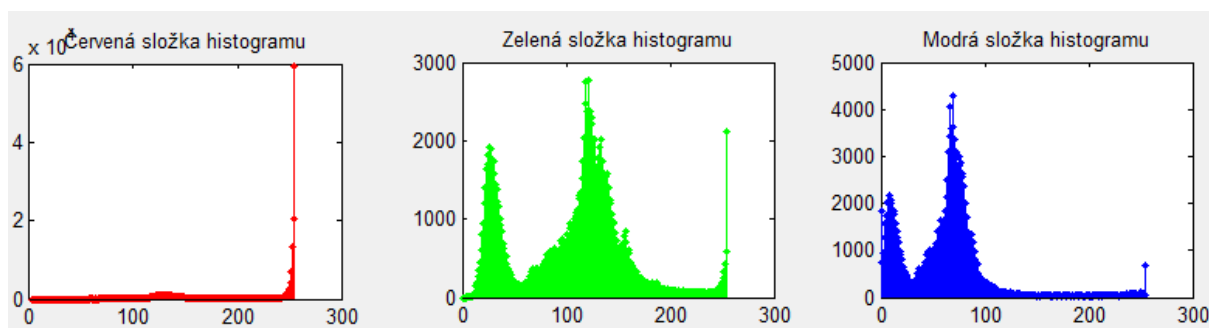
Nejprve je proveden krok transformace RGB obrázku na obrázek šedý. Poté je přes Sobelovu masku proveden krok přičtení hodnoty 2 ke každému bodu v ose x a y. Celý výsledek je pak v cyklu *for* vypočten přes absolutní hodnotu. Celková odezva kódu je cca 0,61 s. Tento inspekční krok je zobrazen na obrázku číslo 26.



Obrázek 26 Výstřížek z Matlab GUI - Zvýraznění hran laseru

### 5.7.3 RGB histogram obrázku sítka

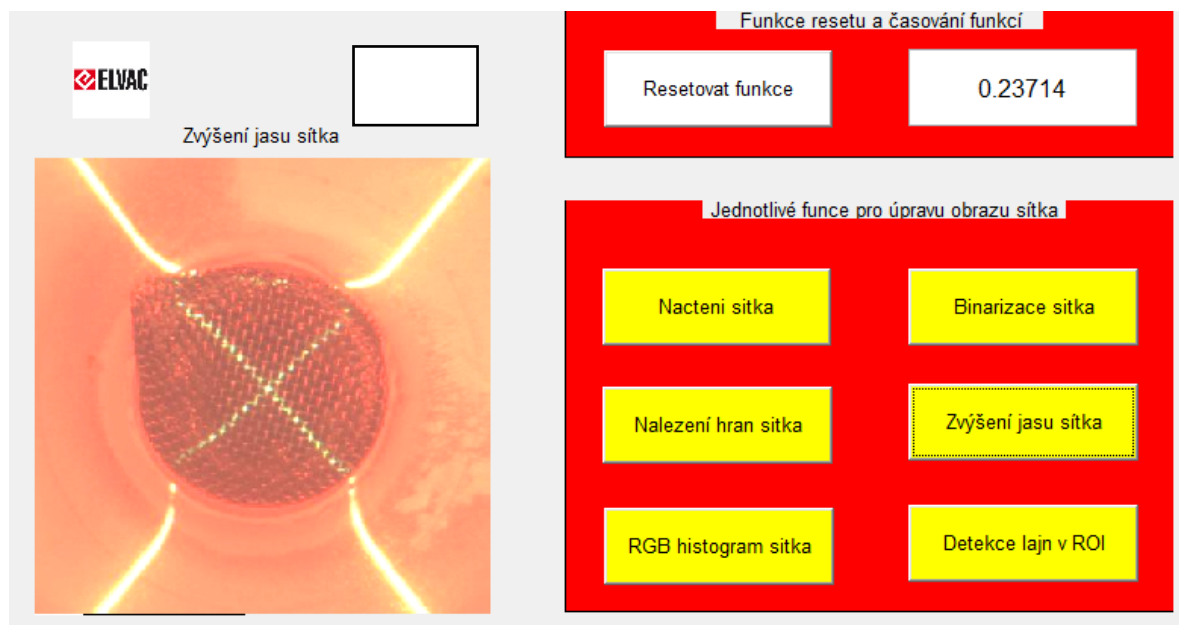
Barevný obrázek je převeden do jednotlivých grafů pro všechny 3 složky (RGB). Je zde zobrazena intenzita složek červené, zelené a modré barvy v rámci rozsahu 255 bodů z *x-ové* osy. Všechny tyto 3 RGB grafy jsou na obrázku číslo 27. Celková odezva kódu je cca 0, 63 s.



Obrázek 27 Výstřížek z Matlab GUI - RGB histogram zvoleného sítka

### 5.7.4 Zvýšení jasu obrázku sítka

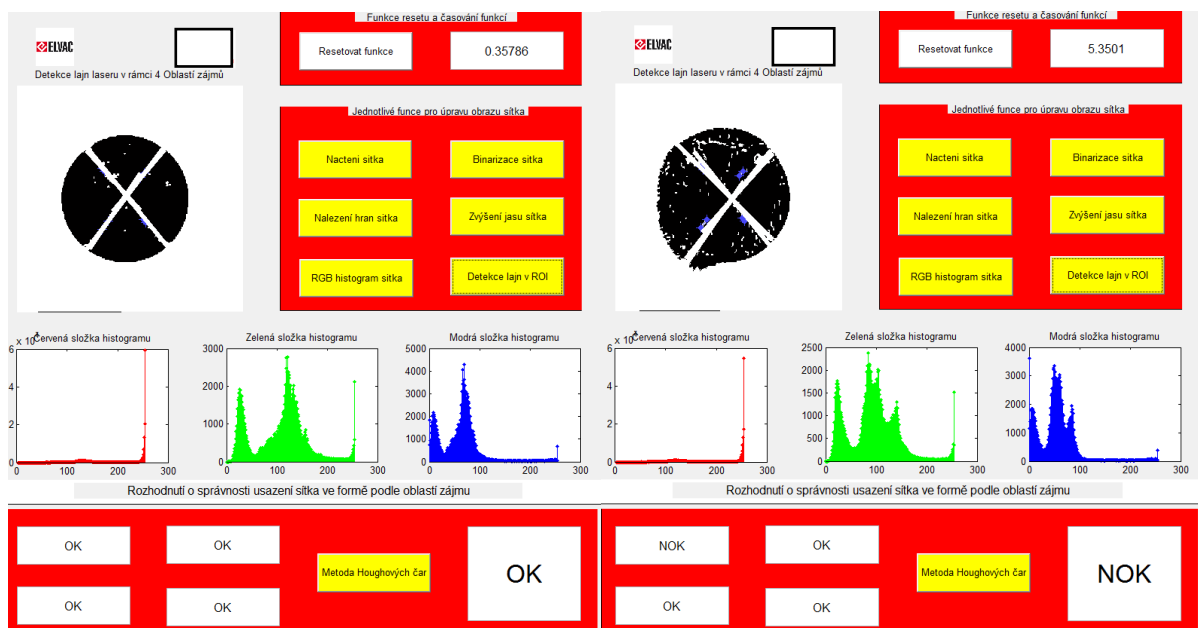
Tato funkce je spíše doplňková, jelikož se v projektu strojového vidění nemusí zvyšovat složka jasu (zobrazena na obrázku číslo 28). Byla vytvořena pouze pro pochopení tohoto kroku. Je možné, že bude použita pro další inspekce. Hlavním krokem je převést barevný obrázek RGB na YCBCR obrázek. Poslední složka Y slouží k zesvětlení jasu. Tuto složku lze měnit a tím i měnit jas výsledného obrázku podle potřeby. V cyklu se provede změna v *x, y* ose v rámci složky Y. V konečném stavu se obrázek zase převede do RGB složky a vytiskne jako nový obrázek. Celková odezva kódu je cca 0,23 s.



Obrázek 28 Výstřížek z Matlab GUI – Zvýšení jasu obrázku sítko

### 5.7.5 Detekce čar laseru a jejich vyhodnocení OK/NOK v oblasti zájmu

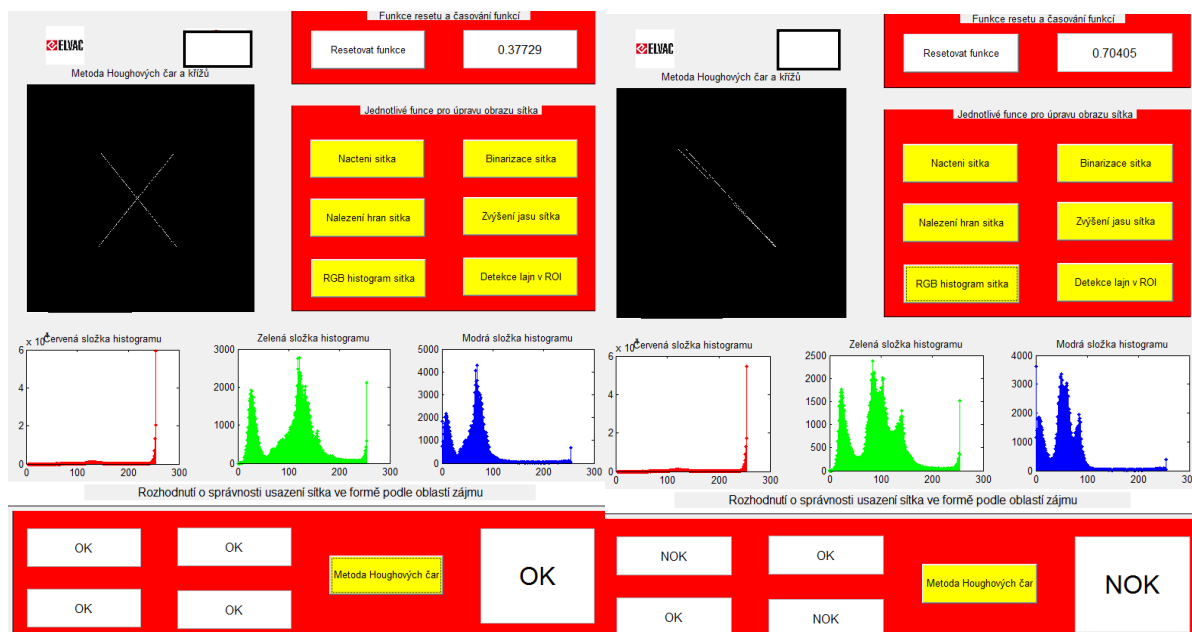
Tohle je hlavní funkce celého GUI. Zpočátku se barevný obrázek sítko převede do šedého obrázku a poté se provede prahování (binarizace) obrázku sítko. Poté, až je obrázek podle Otsu metody zbinarizován, tak se začnou nacházet hrany v obrázku. V tomto případě je důležité zaměřit se na čáry laseru. Tato možnost vyhledávání hran je vyřešena pomocí Prewittovy metody vyhledávání hran. Poté přejde řada na Houghovu transformaci. Proto, aby bylo možné najít v obrázku čáry laseru, je potřeba udělat si nejprve vrcholy a ty pak spojit v úsečky. Díky Houghovým vrcholům (bodům), jsou přes funkci z Matlabu vytvořeny Houghlines – což je už čára, která je vytvořena pomocí struktury předchozích kroků. Tu tvoří (Hrany, theta, rho, vrcholy). *Theta* a *rho* jsou úhly Houghovy transformace. Mezitím jsou vytvořeny oblasti zájmu v místech správného usazení sítko a správného laserového prostoru osvětlení sítko pomocí funkce *impoly*. Tyto oblasti jsou tvořeny body, podle kterých je pak rozhodnuto, jestli jimi prošel paprsek laseru, nebo neprošel. Výstupní hodnoty z těchto bodů nesou binární informaci 1 nebo 0 ve smyslu bílých nebo černých bodů. Černý bod znamená, že bodem neprochází čára laseru a bílý bod naopak ano. Tím pádem je pak vytvořena výstupní logika OK/NOK. Tato logika je rozdělena do 4 podkategorií vyhodnocovací logiky OK/NOK založené sítko ve formě a poté i celkové vyhodnocení podle předchozích kroků. To znamená, pokud je jakýkoli ze 4 oblastí zájmu NOK, pak je celková inspekce NOK. Celá inspekce trvá cca 0,33 s. Tento krok s vyhodnocením obrázku sítko OK/NOK je vyobrazen na obrázku číslo 29.



Obrázek 29 Výstřížek z Matlab GUI – Detekce čar laseru s vyhodnocením OK/NOK

### 5.7.6 Detekce čar laseru a vyhodnocení OK/NOK pomocí Houghových čar

Zpočátku se u této metody barevný obrázek sítka převede do šedého obrázku a poté se provede prahování (binarizace) obrázku sítka. Poté, až je obrázek podle Otsu metody binarizován, tak se začnou nacházet hrany v obrázku. Poté se provede hledání vrcholů podle Houghovy metody. Pak je vytvořena matice, do které je nahrána Houghova čára. Ta je potom vykreslena do nového obrázku pomocí funkce z Matlabu – *insertShape*. Funkce *insertShape* doslova vytiskne kříž dvou Houghových čar. Když je sítko správně zasazeno do formy, tak je vidět na novém vytisknutém obrázku jednotný a nepřerušovaný kříž. Je velice podobný čarám laseru a již neobsahuje šum a nečistoty bílých bodů. Tyto body jsou způsobeny svitem denního světla nebo žhavého materiálu uvnitř formy. Jednoduchým způsobem pak lze vytvořit body oblasti zájmu a rozhodovací logikou určit, je-li sítko správně zasazené ve formě. Použití této metody trvá cca 0,45 s. Tento krok s vyhodnocením obrázku sítka OK/NOK je vyobrazen na obrázku číslo 30.

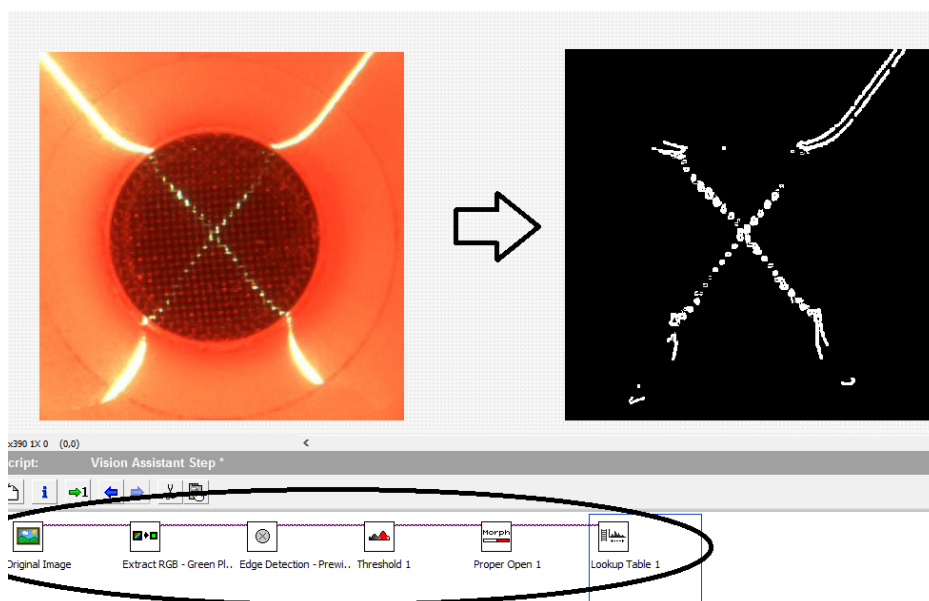


**Obrázek 30 Výstřížek z Matlab GUI – Metoda vyhodnocení OK/NOK pomocí Houghovy transformace a vykreslení obrysu čar laseru**

## 5.8 Porovnání dob funkcí úpravy obrazu v Matlabu a VBAI

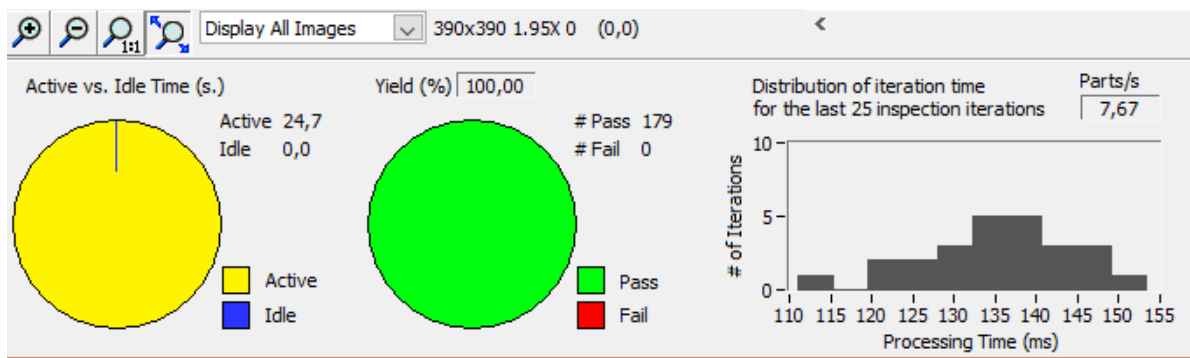
VBAI je jednoznačně rychlejší nástroj pro inspekci sítka a úpravu obrazu pro zpracování obrazu. Je to způsobeno především tím, že VBAI je vybaven funkcemi, které využívají málo paměti RAM a nezatěžují tak příliš CPU jako MATLAB. MATLAB je sice určen pro zpracování obrazu, ale nedbá na rychlost zpracování jeho funkcí. Je velice robustní a je určen spíše do laboratorních prostředí. Naopak je názornější pro pochopení jednotlivých funkcí úpravy obrazu. Ukázka převodu barevného obrázku na binární je na obrázku číslo 31.





**Obrázek 31 Výstřížek z VBAI – Převod barevného obrázku sítky na obrázek binární**

VBAI dokáže upravit, vyhodnotit obrázek inspekce a zapsat výsledek do registrů ve velmi vysoké rychlosti. Příkladem může být inspekce sítky přímo v inspekčním módu. Například za 1 sekundu dokáže tento nástroj vyhodnotit 7,67 obrázků. V *inspection mode* (obrázek číslo 32) je zobrazena rychlost vyhodnocení snímků

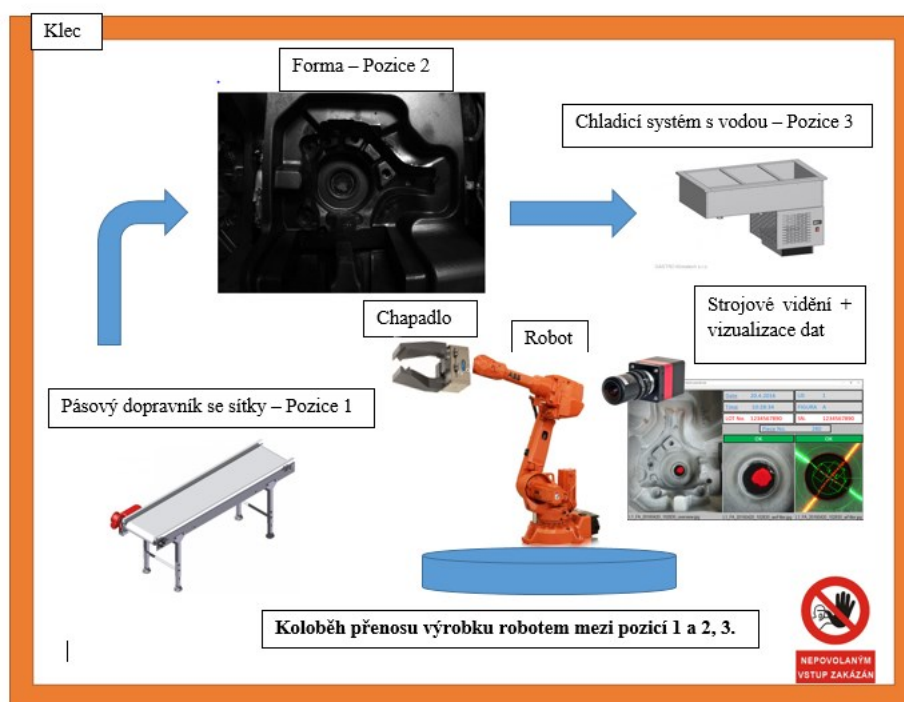


**Obrázek 32 Výstřížek z VBAI Runtime – Rychlost vyhodnocení snímků sítky v čase**

## 6 Realizace aplikace strojového vidění pro robotické pracoviště

### 6.1 Robotické pracoviště pro výrobu brzdových třmenů

Celé robotické pracoviště je umístěno v bezpečnostní kleci (podle obrázku číslo 33). Do bezpečnostní klece má přístup pouze servisní technik nebo obsluha a vstup do klece je chráněn bezpečnostními senzory. Robotické pracoviště pro výrobu brzd je tvořeno především robotem, který je nejdůležitějším prvkem pro manipulaci výrobků. Jedná se o typ robota ABB IRB 6600. Koncový efektor je vybaven úchopným systémem chapadla. Chapadlo je ovládáno hydraulickým systémem rozpínání nebo stlačení jednotlivých prstů chapadla. Jednotlivá sítka jsou přivedena pásovým dopravníkem k pozici, kde je robot sbírá stlačením chapadla a jemným přenosem je pak vkládá do formy. Tyto dvě chapadla, která jsou umístěna na obou stranách ramena, tak mohou přenášet na jedno otočení dvě sítká. Formy jsou opět dvě a sítká jsou uložena během jednoho cyklu ve stejném čase zároveň. Poté přichází na řadu kamerová inspekce. Ta je spuštěna z řídicího PLC. PLC před kamerovou inspekci dostane signál, že je robot v příslušné poloze, dovolující zapnout průmyslové kamery, osvětlení místa inspekce a v neposlední řadě i křížový laser. Vše je zapnuto zároveň a cyklus inspekce trvá cca 3 s.



Obrázek 33 Ukázka robotického pracoviště pro výrobu brzdových třmenů

Mezitím co jsou vypsána data z inspekčního kroku ve vizualizaci (postupný cyklus robota během výroby je zobrazen na obrázku číslo 34), robot se dostává do pozice vytažení výrobků brzd. Přechází k chlazení výrobku ve velkých chladicích kádích s vodou. Jelikož jsou průmyslové kamery vloženy do

vodotěsného ochranného krytu, může tak probíhat chlazení i s upevněnými kamery na rameno robota. Poslední fází cyklu robota je položit výrobek na větší pásový dopravník. Z pásového dopravníku se tak dostane výrobek obsluze robotického pracoviště přímo do rukou. Obsluha pak odnese výrobek k dalšímu zpracování a k celkové kontrole vnějších parametrů.



Obrázek 34 Cyklus procesu robota

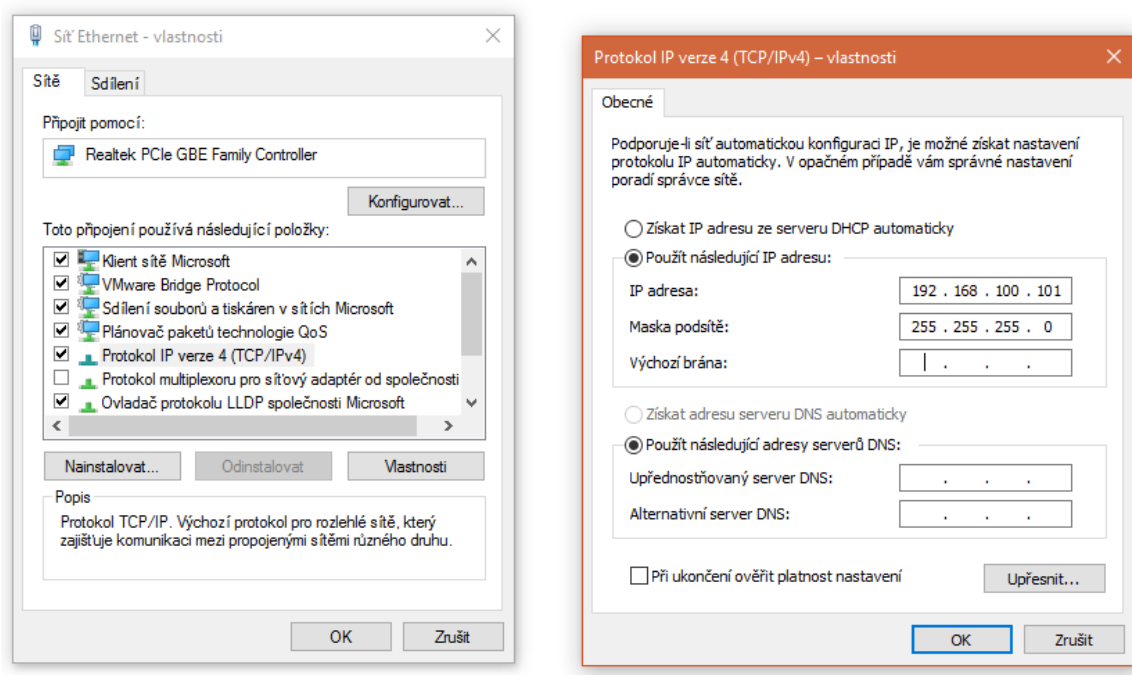
## 6.2 Nastavení průmyslové kamery Basler

Zařízení v jedné síti musí mít stejnou masku podsítě, což je 255.255.255.0. S touto maskou první tři pozice IP adresy identifikují samotnou síť a musí být na všech zařízeních. Adresa 192.168. 100 musí být stejná, ale poslední adresa musí být unikátní. Celý postup zápisu obou adres je na obrázku číslo 36. [1]



Obrázek 35 Spojení PC a průmyslové kamery přes IP adresu [1]

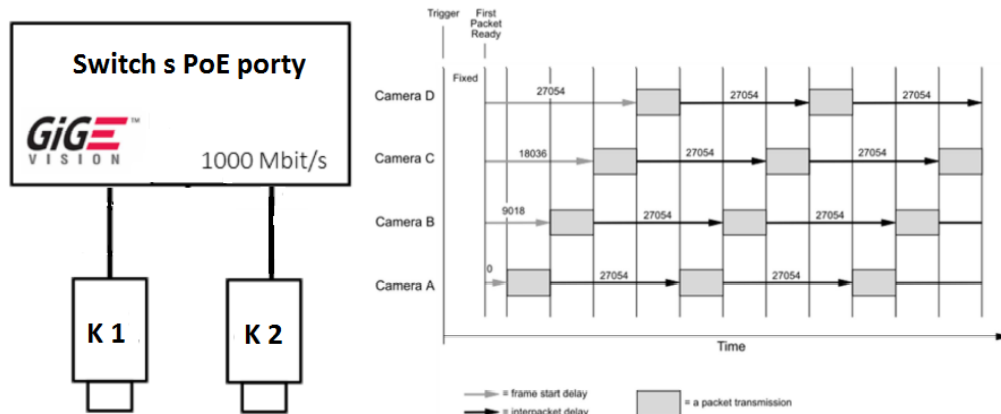
Po nastavení těchto adres je potřeba nastavit datový formát. Ten byl nastaven na „Mono 12 Packed“ – u něhož se využije na přenos jednoho pixelu s velikostí půl bajtu a dva pixely se přenesou ve třech bajtech. Další důležitým aspektem pro vytvoření citlivosti kamery je „Expoziční čas.“ Má zásadní vliv na citlivost a jas. Byl maximálně využit dynamický rozsah snímače. Pro správnou výslednou inspekci byla otevřena clona na maximum. Celý proces byl testován, aby došlo k co největší spolehlivosti a opakovatelnosti inspekce.



Obrázek 36 Zadání IP adresy pro komunikaci v protokolu TCP/IPv4

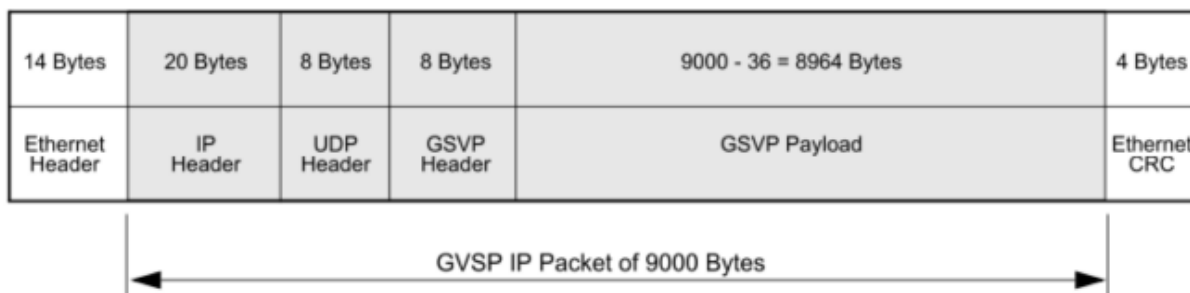
## 6.3 Nastavení dvou průmyslových kamer Basler v jedné síti

Jakmile je v síti zapojeno více průmyslových kamer (zapojení je ukázáno na obrázku číslo 37, je potřeba zařídit, aby počítač zvládnul spouštět a přepínat kanály s připojenými kamery. Základním prvkem při přenosu dat jsou Jumbo Frames. Jejich velikost je typicky cca 9000 byte. Mezera mezi dvěma vedlejšími pakety jsou udávány jako 1 tik kamery. U kamer od firmy Basler je jeden tik cca 8 ns. Nedílnou součástí tohoto přepínání kamer v čase je taktéž zpoždění kamery. Anglický název tohoto jevu je Frame Start Delay.



Obrázek 37 Schéma zapojení 2 kamer (vlevo) a přepínání paketů dat z kamer (vpravo)

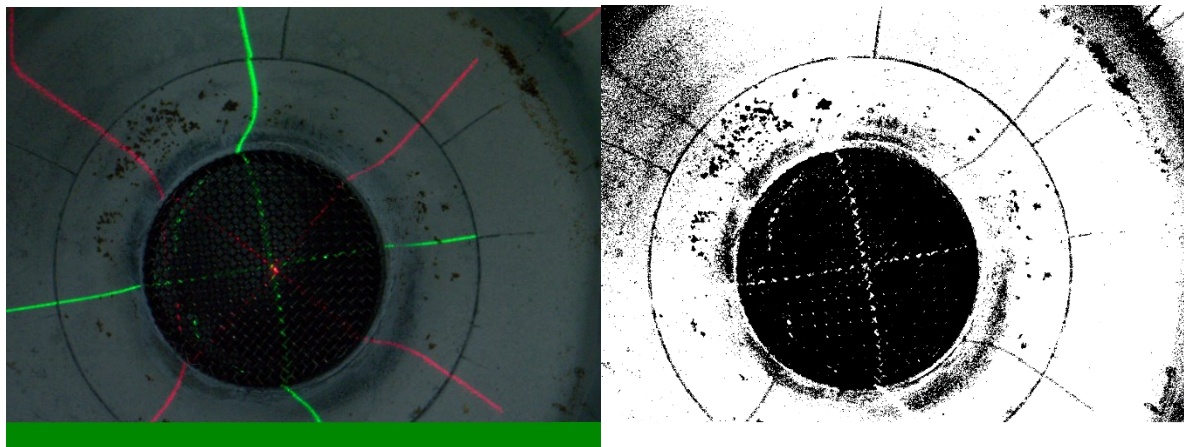
Jsou-li kamery nastaveny na velikost paketu 9000 byte, tak celková velikost užitečných dat je  $9000 - (20 + 8 + 8) = 8964$  byte. Velikost rámce pak je  $9000 + 14 + 4 = 9018$  byte. Pro výpočet sítě 2 kamer je potřeba změnit nastavení „Frame Transmission Delay“ na 9018 tiků kamery. Po tomto přenastavení nemůže dojít k přerušení snímání jedné nebo druhé kamery.



Obrázek 38 Detail délky paketu pro přenos dat z kamery

## 6.4 Použité filtry pro inspekci sítka

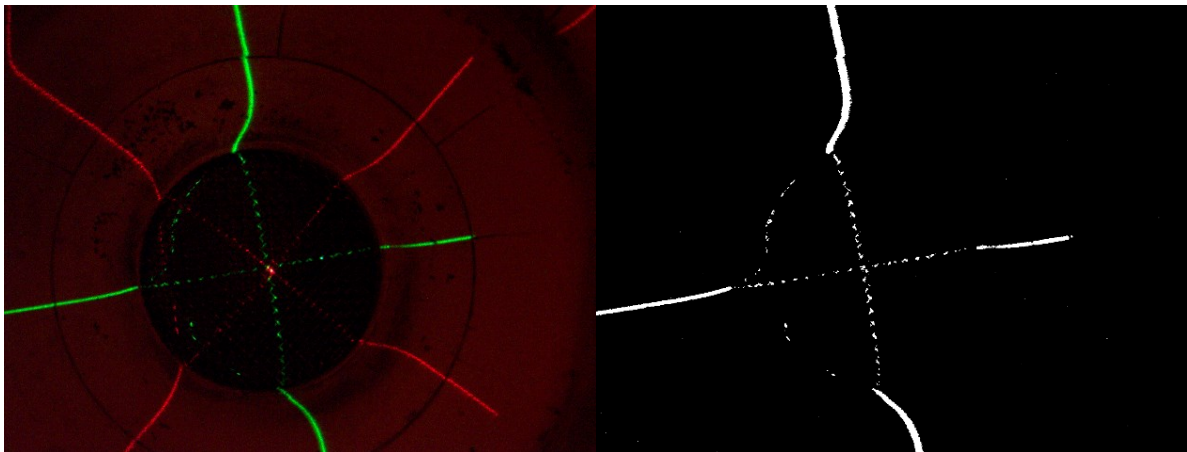
Filtry jsou používány pro inspekce z důvodu potlačení barevné vady na čočkách nebo kvůli zvýraznění barev. Velice důležitou úlohu hrají při odstranění nebo ke snížení množství světla a tím i k ochraně kamery samotné. V tomto projektu je zásadním krokem pro instalaci filtru pro eliminaci vlivu parazitního denního světla. Rozdíl je zřejmě vidět na obrázku číslo 39.



Obrázek 39 Barevný obrázek bez červeného filtru (vlevo) a převod na grayscale obrázek (vpravo)

Na horním obrázku číslo 39 je zobrazena inspekce sítka bez zeleného filtru. Je zřejmé, že je intenzita paprsku přerušovaná a málo viditelná. Červený i zelený laser je stejně viditelný na barevném obrázku. Po převedení obrázku do šedého greyscale, je již vidět pouze paprsek zeleného laseru. Je to způsobeno tím, že zelený laser má lepší absorpci světla než paprsek laseru červeného. Naopak na obrázku dole lze

vidět podstatný rozdíl inspekce se zeleným filtrem oproti předchozímu výsledku. Je zde zcela dobře vidět, jak jsou pod zeleným filtrem zvýrazněny oba paprsky laserů (podle obrázku 40).

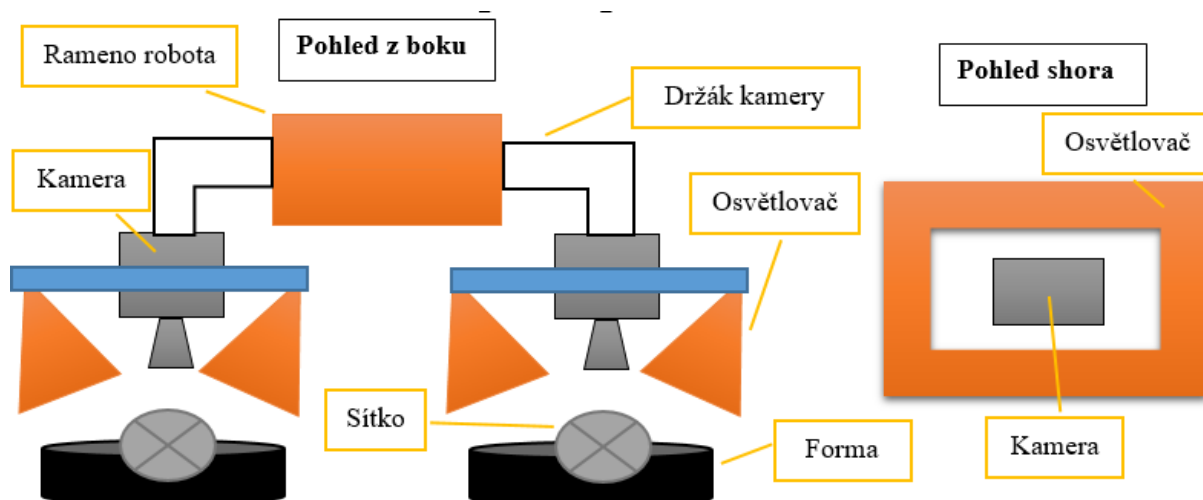


**Obrázek 40** Barevný obrázek se zeleným filtrem (vlevo) a převod na grayscale obrázek (vpravo)

Na první pohled je zcela razantně provedena eliminace okolního denního světla. Navíc oba paprsky vynikly nad oblast zájmu inspekce a bylo zcela zjevně zatemněno okolí povrchu samotné formy a licího otvoru. Je zcela odstraněna nečistota v okolí licího otvoru a již nejdou vidět prosvícené dírky sítka. Červený paprsek laseru nejde vidět, neboť jeho červenou složku po převodu do grayscale obrázku zcela odstraní tato úprava. Po převodu obrázku do šedého grayscale obrázku je výsledkem binární snímek. Toho pak lze využít, neboť lze bílé pixely obrázku uvést jako 1 a černé pixely jako 0.

## 6.5 Použitý osvětlovač pro inspekci sítka

Osvětlovače jsou ve strojovém vidění velmi důležité. Pro aplikaci kamerové inspekce sítka byl použit systém čtyř-dílného LED osvětlení. Osvětlovač je upevněn okolo kamerového krytu. Osvětlení je spínáno z PLC společně s kamerou a laserem. Díky tomuto systému bylo zvýrazněno sítko a zvýšila se taky ostrost obrázku. Taktéž není inspekce závislá na denním nebo nočním provozu v rámci svitu slunečních paprsků.



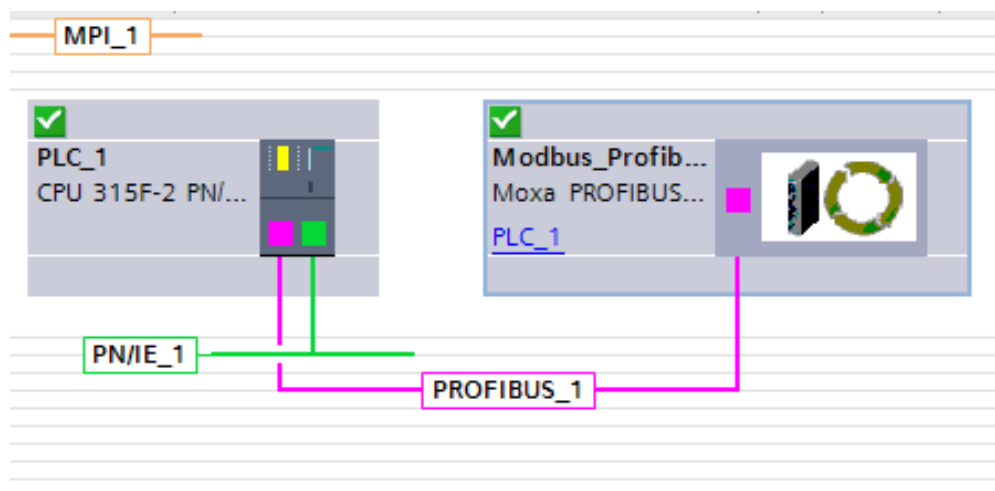
**Obrázek 41 Osvícení sítka před kamerou pomocí 4 dílného systému LED**

Vlevo na obrázku číslo 41 je schematicky zobrazeno upevněné osvětlení na rameno robota z boku. Napravo je schematicky ukázán pohled shora na kameru a na zařízení pro osvětlení oblasti zájmu. Osvětlovače jsou během cyklu inspekce zaměřeny přímo na oblast sítka a licího otvoru. Během inspekce dojde k osvětlení celé oblasti zájmu. Výsledky inspekce po instalaci osvětlovače sítka jsou vynikající a podstatně výrazně lepší než bez jejich použití.

## 6.6 Nastavení I/O pro komunikaci s VBAI v TIA portálu

Po instalaci GSD souboru od výrobce převodníku do TIA portálu byla propojena cesta mezi PLC a převodníku pomocí protokolu Profibus. Celá tato spojitost je zobrazena na obrázku číslo 42. Vstupy i výstupy jsou tak posílány přes komunikační protokol na převodník. PLC je tak MASTER a průmyslový počítač s nainstalovaným VBAI a propojený komunikačním protokolem ModBus je Slave. Na obrázku číslo 43 je ukázána část programu OB pro ovládání kamer s osvětlením oblasti zájmu a laserů z PLC. [14]





**Obrázek 42 Propojení PLC přes protokol ProfiBus s převodníkem Profibus/ModBus v TIA portálu [14]**

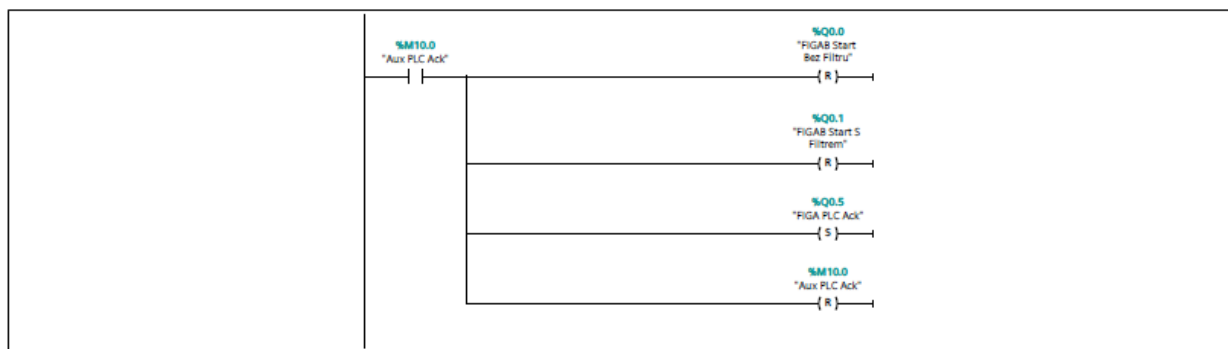
Podle tabulky číslo 8 je vytvořena komunikace mezi VBAI a PLC. Z PLC je vyvedeno 16 bitů vstupů a 16 bitů výstupů je ke každému tagu přiřazena adresa z VBAI. Osm vstupních bitů je věnováno levé formě a pravé formě taktéž osm. První dva bity u levé formy zapínají kameru ve smyslu inspekce licího otvoru se sítkem a bez sítka. Vstupy I1.0 a I1.1 dělají stejnou úlohu pro pravou formu. Další zbylé bity jsou vytvořeny pro informaci, jestli je inspekce OK/NOK a zapínání laserů. Výstupní bity z PLC jsou rozděleny na klasické BOOL typy proměnných a na dvě proměnné typu WORD. BOOL výstupní tagy jsou vytvořeny pro zapínání inspekce z PLC. Jedná se o zapnutí inspekce ke kontrole formy bez sítka a poté pro kontrolu formy se vsazeným sítkem. Výstupy Q1.6 a Q1.7 slouží k přepínání lisů při výrobě brzd, aby při inspekci nedocházelo k posunutí oblasti zájmu, když robot přechází z jednoho lisu na druhý. Může zde totiž vznikat určitá odchylka při natočení sítka nebo vychýlení HW kamerového systému. Obě kontroly nejsou osově souměrné a nelze přesně nastavit parametry pro obě dvě inspekce zároveň. Datový typ WORD slouží ke generování náhodného čísla. Je vytvořen pro jedinečného (unikátního) čísla ID pro každou inspekci a s tím i pro každé sítko, které prošlo kontrolou. Toto ID je pak přiřazeno i k času, kdy inspekce proběhla a s jakým výsledkem byla dokončena (OK/NOK). Toto ID je součástí reportu, který se během procesu generuje a poté ukládá na disk. [15]



Main Properties							
General							
Name	Main	Number	1	Type	OB	Language	LAD
Numbering	automatic						
Information							
Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					

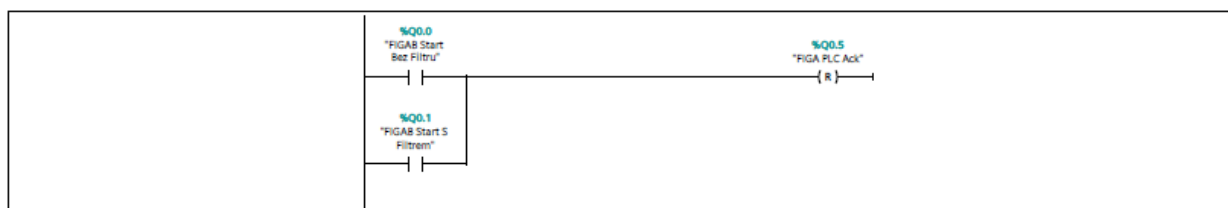
Name	Data type	Offset	Default value	Comment
▼ Temp				
OB1_EV_CLASS	Byte	0.0		Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)
OB1_SCAN_1	Byte	1.0		1 (Cold restart scan 1 of OB 1), 3 (Scan 2-n of OB 1)
OB1_PRIORITY	Byte	2.0		Priority of OB Execution
OB1_OB_NUMBR	Byte	3.0		1 (Organization block 1, OB1)
OB1_RESERVED_1	Byte	4.0		Reserved for system
OB1_RESERVED_2	Byte	5.0		Reserved for system
OB1_PREV_CYCLE	Int	6.0		Cycle time of previous OB1 scan (milliseconds)
OB1_MIN_CYCLE	Int	8.0		Minimum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_MAX_CYCLE	Int	10.0		Maximum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0		Date and time OB1 started
Constant				

Network 1:



Symbol	Address	Type	Comment
"Aux PLC Ack"	%M10.0	Bool	
"FIGA PLC Ack"	%Q0.5	Bool	
"FIGAB Start Bez Filtru"	%Q0.0	Bool	
"FIGAB Start S Filtrem"	%Q0.1	Bool	

Network 2:



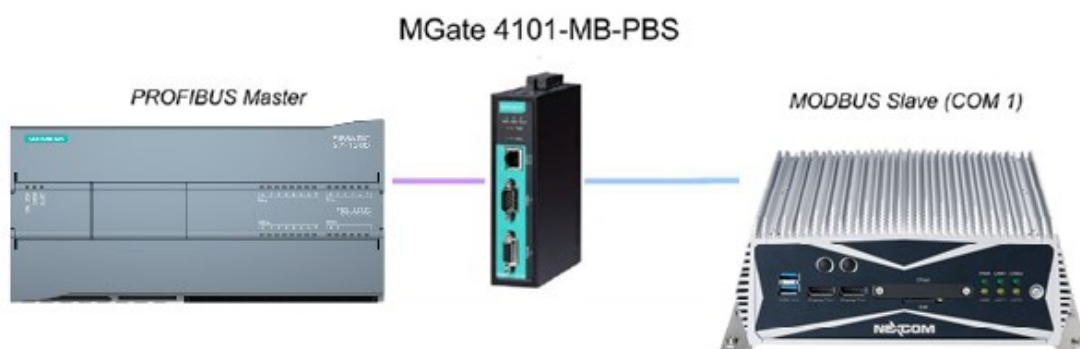
**Obrázek 43 Ukázka části programu v Main OB - ovládání kamer a laserů v TIA portalu**

PLC	VBAI	Název proměnné	Hodnota	Hex h.	Typ
Vstupy PLC	Výstupy VBAI	IN	IN	IN	IN
I0.0	0x0	FL – Inspekce bez Filtru – Chod	0	FALSE	BOOL
I0.1	0x1	FL – Inspekce s Filtrem – Chod	0	FALSE	BOOL
I0.2	0x2	FL – Bez filtru OK	0	FALSE	BOOL
I0.3	0x3	FL – Bez filtru NOK	0	FALSE	BOOL
I0.4	0x4	FL – S filtrem OK	0	FALSE	BOOL
I0.5	0x5	FL – S filtrem NOK	0	FALSE	BOOL
I0.6	0x6	FL – levý laser	0	FALSE	BOOL
I0.7	0x7	FL – pravý laser	0	FALSE	BOOL
I1.0	0x8	FR – Inspekce bez Filtru – Chod	0	FALSE	BOOL
I1.1	0x9	FR – Inspekce s Filtrem – Chod	0	FALSE	BOOL
I1.2	0xA	FR – Bez filtru OK	0	FALSE	BOOL
I1.3	0xB	FR – Bez filtru NOK	0	FALSE	BOOL
I1.4	0xC	FR – S filtrem OK	0	FALSE	BOOL
I1.5	0xD	FR – S filtrem NOK	0	FALSE	BOOL
I1.6	0xE	FR – levý laser	0	FALSE	BOOL
I1.7	0xF	FR – pravý laser	0	FALSE	BOOL
Výstupy z PLC	Vstupy VBAI	OUT	OUT	OUT	OUT
MW0	0x014	PLC ID tag	0000	0000	WORD
MW1	0x015	PLC ID tag	0000	0000	WORD
Q0.2	0x016	Rezerva			
Q0.3	0x017				
Q0.4	0x018				
Q0.5	0x019				
Q0.6	0x01A				
Q0.7	0x01B				
Q1.0	0x01C				
Q1.1	0x01D				
Q1.2	0x01E				
Q1.3	0x01F				
Q1.4	0x020	Start_bez_filtru	0	FALSE	BOOL
Q1.5	0x021	Start_s_filtrem	0	FALSE	BOOL
Q1.6	0x022	Levý lis	0	FALSE	BOOL
Q1.7	0x023	Pravý lis	0	FALSE	BOOL

Tabulka 8 Ukázka I/O tagu z PLC a I/O z VBAI

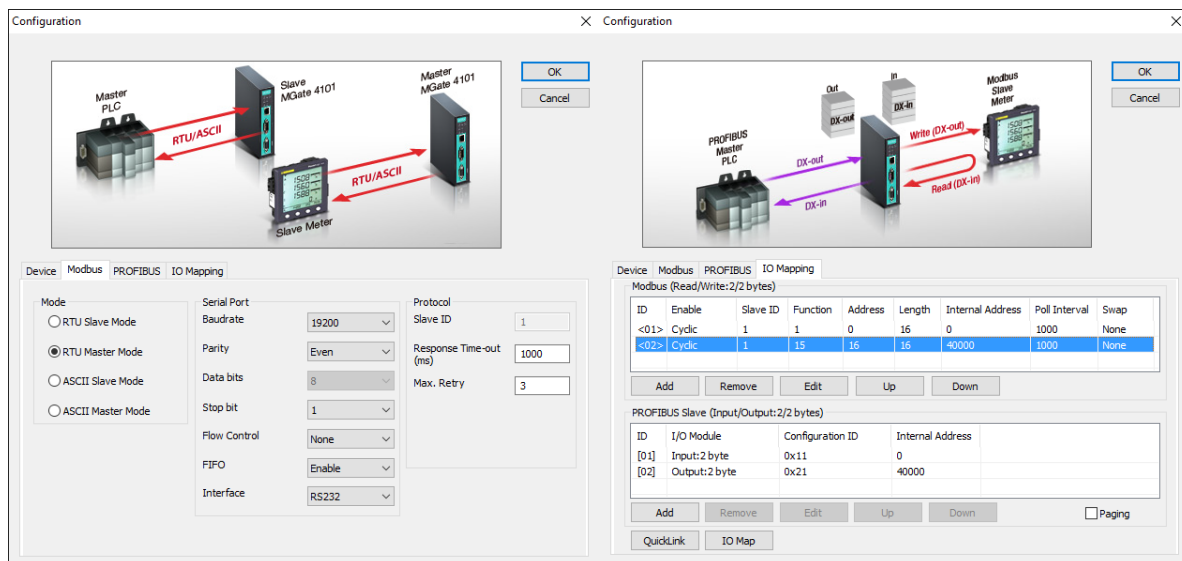
## 6.7 Nastavení převodníku Moxa Profibus/Modbus

Nejprve je důležité zapojit kabel Profibus do PLC a poté spojit s převodníkem Moxa. Na opačné straně vzít kabel dvojlinky s konektory pro sběrnici RS232 a propojit mezi sebou převodník a průmyslový počítač. Celý obrázkový postup zapojení je ukázán na obrázku číslo 44. [16]



**Obrázek 44 Blokové zapojení komunikace ModBus z PLC (Master) přes převodník Moxa do průmyslového počítače (Slave)**

Nastavení konfigurace převodníku MOXA Mgate 4101-MB\_PBS pro komunikaci a převod protokolu Profibus/ModBus bylo provedeno v programu Mgate manažer. Nejdříve je potřeba vybrat si správný typ HW. Jakmile je vybrána MOXA Mgate 4101-MB\_PBS, tak lze přejít do další záložky programu. Na první záložce lze napsat heslo, aby se do převodníku nemohl dostat nežádoucí uživatel a nemohl přenastavit parametry komunikace. Na druhé záložce této konfigurace je nastavení Modbus protokolu. Je zde vybrána možnost RTU Slave – Mode, jelikož bude VBAI používán jako „SLAVE“ v tomto směru komunikace. Rychlost je nastavena na 1920 baudů bez parity. Zároveň je důležité v BIOSu počítače nastavit rychlost přenosu dat při komunikaci a také na fyzické vrstvě možnost RS232. Je zde i možnost nastavení času, jak dlouho má čekat převodník na odpověď z PLC. Tato hodnota je nastavena na 1000 ms. Kdyby byla komunikace přerušena na cestě k převodníku nebo do převodníku, tak je tato indikace velice důležitá. Opakovatelnost tohoto kroku je nastavena na 3 násobek Time-out času. V sekci Profibus Master se nic nenastavuje, jelikož nám adresy z ModBus vystačí a nemusí se přepínat přes adresy 0-99. V záložce *IO mapping* lze zapsat I/O a adresovat je. Celý postup konfigurace je zobrazen na obrázku číslo 45.



**Obrázek 45 Nastavení komunikace Profibus/ModBus v převodníku Moxa**

Jednotlivé instrukce zápis nebo čtení I/O pro Modbus komunikaci lze zapsat podle dvou tabulek níže:

Typ přenášených dat pro komunikaci ModBus	
Označení	Význam
Discrete input	Jeden bit určený pouze ke čtení
Coil	Jeden bit, který lze číst i zapisovat – Lze jej ovládat i zjišťovat jeho stav.
Input Register	16 bitový registr určený pouze ke čtení. Například analogový vstup.
Holding Register	16 bitový registr, který lze číst i zapisovat. Například čítač.

**Tabulka 9 Typ přenášených dat pro komunikaci ModBus**

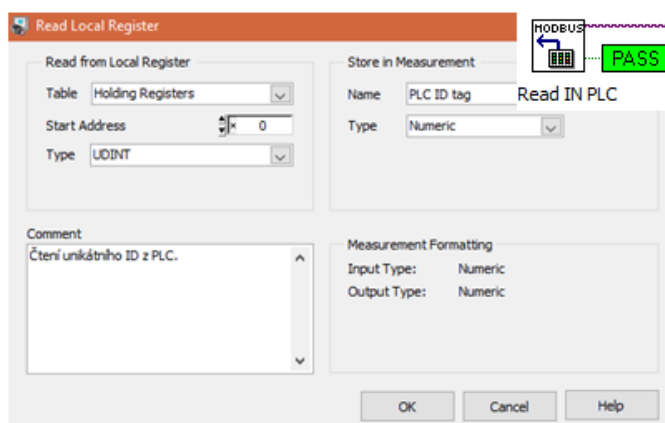
V této práci byla využita možnost čtení bitů z PLC pomocí kódu 01 – Read Coils. K tomuto nastavení je potřeba vybrat možnost cyklického čtení bitů, aby se jednotlivé bity četly neustále bez žádného zpoždění. Je také důležité vybrat velikost a přesnou adresu příslušného bitu, aby měl daný bit přesnou adresaci. V opačném směru se jednalo o zápis bitů pomocí kódu 15 – Write multiple Coils.

Kódy základních funkcí pro komunikaci ModBus		
Kód	Název funkce	Popis funkce
01	Read Coils	Čtení jednoho nebo více bitů.
02	Read Discrete Inputs	Čtení jednoho nebo více diskretních bitů.
03	Read Holding Registers	Čtení jednoho nebo více 16 bitových registrů.
04	Read Input Registers	Čtení jednoho nebo více 16 vstupních bitových registrů.
05	Write Single Coil	Zápis jednoho bitu.
06	Write Single Register	Zápis jednoho 16bitového registru.
15	Write Multiple Coils	Zápis více bitů zároveň v cílce.
16	Write Multiple Registers	Zápis 16 bitových registrů zároveň.

**Tabulka 10 Kódy základních funkcí pro komunikaci ModBus**

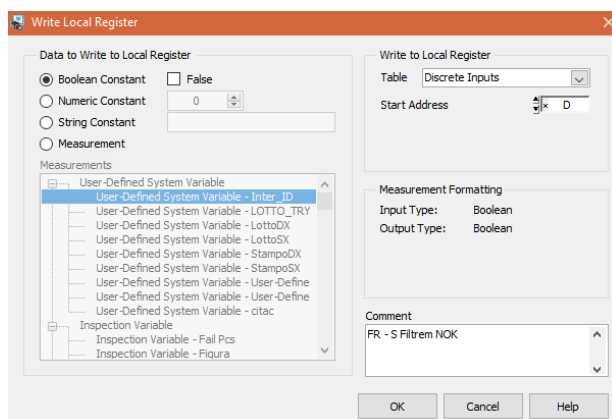
## 6.8 Nastavení I/O pro komunikaci ve VBAI

Pro zprovoznění komunikace VBAI Slave s PLC Master je potřeba otevřít funkci ModBus ve VBAI. Hlavními parametry této funkce je čtení nebo zápis I/O pro komunikaci přes ModBus. Pro nastavení čtení výstupů z PLC je potřeba otevřít záložku *Read Local Register*. Zde je možno zvolit tabulku čtených bitů pro komunikaci přes Modbus, zde je zvolena možnost *Holding Registers*. Bude se číst 16 bitové číslo. Pro příklad tohoto nastavení je vybrán registr unikátního ID z PLC (podle obrázku číslo 46). Počáteční adresa je 0. Datový typ byl zvolen jako *UDINT*, což je zkratka pro *Double INT* ve VBAI. Danému vstupu je přiřazeno jméno pro přehled, jelikož bude používán v dalších procesech. Datový typ, s kterým bude pracovat VBAI je *numeric*.



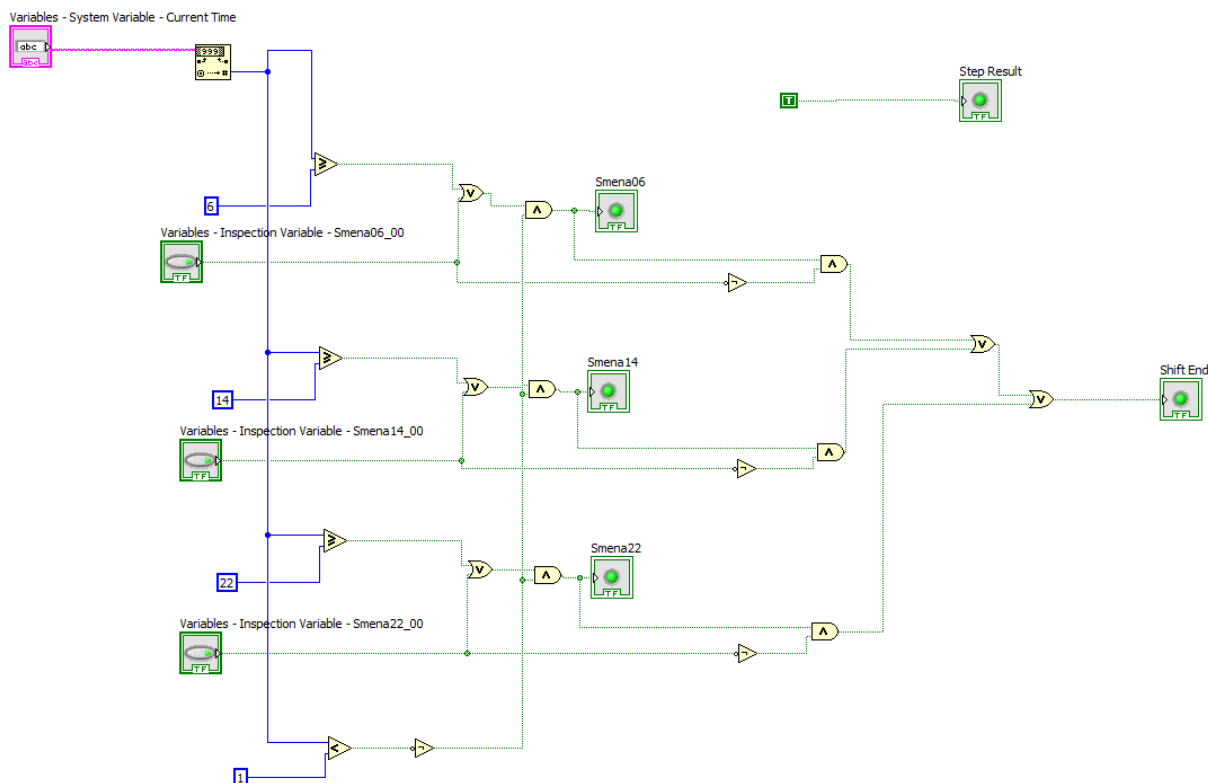
Obrázek 46 Čtení výstupních bitů z PLC přes ModBus ve VBAI

Pro zápis vstupů do PLC je otevřena záložka *Write Local Register*. Pro příklad této komunikace je vybrán výstupní bit z VBAI s názvem *S filtrem NOK*. Datový typ je binární konstanta. Pro zápis je vybrána možnost zápisu jediného bitu *Discrete input* s počáteční adresou D (podle obrázku číslo 47).



Obrázek 47 Zápis vstupních bitů do PLC z VBAI





Obrázek 49 Ukázka rozhodovací logiky při zápisu směn

## 6.9.2 Program na inspekci celé formy ve VBAI

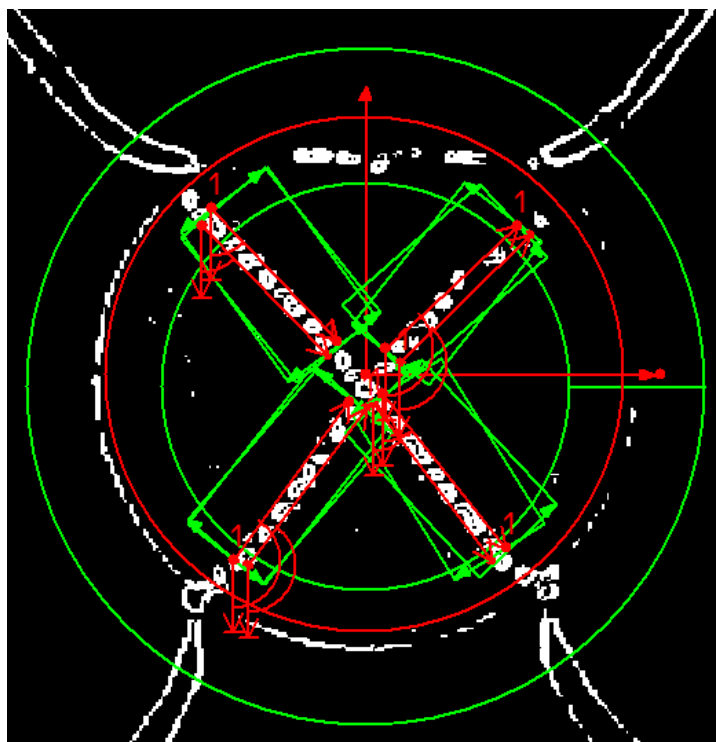
V této části programu inspekce je provedeno nasnímání celé formy. Inspekce je rozdělena do dvou částí. První částí je inspekce levé celé formy a druhá část je naprogramována pro pravou formu. Tato kontrola je vytvořena z důvodu celkového přehledu o čistosti formy. Kamery nasnímají obě formy zároveň a poté se licí otvor ořízne bez sítka. Ořez otvoru pak lze kontrolovat, jestli neobsahuje otřepy a zbylé části materiálu z předchozího cyklu výroby. Poté je fotka celé formy a ořezu uložena a inspekci je přiřazen report. Aplikace strojového vidění je napsána jak pro lis číslo 1 tak i pro lis číslo 2. Základními funkcemi této části programu jsou:

- Nasnímání levé a pravé formy Lisu 1 a Lisu 2.
- Ořez obrázku v zájmu oblasti licího otvoru.
- Kontrola jemnosti povrchu kruhové výseče licího otvoru.
- Přiřazení ID inspekce pro všechny obrázky forem.
- Ukládání reportu z inspekce a všech fotek.
- Rozhodovací logika pro výběr formy při ukládání snímku.
- Obnovení vizualizace po tomto inspekčním kroku.

### 6.9.3 Program na inspekci natočení sítěk ve VBAI

Tato část programu inspekce je nejobsáhlejší a nejkompaktnější. Jsou zde obsaženy nejdůležitější funkce celého programu. Jedná se o kontrolu usazení sítka v licím otvoru formy (podle obrázku číslo 50). Jelikož sítko nesmí být ve formě natočeno o více než 10 úhlových stupňů, je potřeba počítat úhly vychýlení čar laseru přímo v programu. Jednotlivé postupy této inspekce jsou uvedeny níže:

- Převod barevného obrázku na binární typ obrázku.
- Vytvoření koordinačního systému sítka.
- Nalezení čar laseru na sítku v oblasti zájmu.
- Rozhodující logika, jestli je v otvoru sítko, nebo ne.
- Měření úhlu natočení sítka ve formě z dostupných hodnot vychýlení.
- Výsledný status je vyslán přes komunikaci přímo do PLC.
- Je vytvořena XY osa pro informaci, kam se sítko nejvíce vychýlilo.
- Ukládání vychýlení sítka do reportu v čase i s unikátním ID.
- Ukládání OK snímků sítka v čase i s jeho vlastním unikátním ID.
- Ukládání NOK snímků sítka v čase i s jeho vlastním ID.
- Obnovení vizualizace dat.



Obrázek 50 Ukázka inspekčních funkcí použitých na sítku



## 7 Ověření funkčnosti aplikace a zobrazení výsledků

### 7.1 Ověření funkčnosti aplikace

Ověření správné funkce inspekce sítky je založena na testování výstupních obrázků. Další nedílnou součástí je správně vytvořený report z inspekce. Soubory s OK/NOK obrázky inspekce jsou uloženy na externí disk. Ukládání fotek sítky do složek je zobrazeno na obrázku číslo 51.

Název	Datum změny	Typ	Velikost
LIS1 FL NOK	21.12.2016 18:11	Složka souborů	
LIS1 FL Report	21.12.2016 18:11	Složka souborů	
LIS1 FR NOK	21.12.2016 18:11	Složka souborů	
LIS1 FR Report	21.12.2016 18:11	Složka souborů	
LIS2 FL NOK	21.12.2016 18:11	Složka souborů	
LIS2 FL Report	21.12.2016 18:11	Složka souborů	
LIS2 FR NOK	21.12.2016 18:11	Složka souborů	
LIS2 FR Report	21.12.2016 18:11	Složka souborů	
Report Smen	21.12.2016 18:11	Složka souborů	

Obrázek 51 Vyhledávání obrázků a reportů na disku

Report je vytvořen pro výstup hodnot ve formátu .csv. Je zde sloupec s časem a datem vytvoření inspekce, dále celkový výsledek inspekce a výsledek dílčích úhlů z hran čar laserů. Poté zde je zapsán i naměřený úhel všech náběžných hran. Posledním parametrem těchto tabulek je ID každé inspekce. Zobrazený výstřížek tabulkového reportu je na obrázku číslo 52.

					Uhly sítky	Uhly sítky	Uhly sítky	Uhly sítky	Uhly sítky	Uhly sítky	Uhly sítky	Uhly sítky	Uhly sítky	Uhly sítky	Uhly sítky	Uhly sítky	Variables
2377	Uhel H1-Y	Uhel H1-Y	Uhel H4-Y	Uhel H4-Y	Mereni uh	Mereni uh	Mereni uh	Mereni uh	Mereni uh	Mereni uh	Mereni uh	Mereni uh	Mereni uh	Mereni uh	Mereni uh	Mereni uh	Filtr Statu
2378	Measure	Measure	Measure	Measure	Measure	Measure	Measure	Measure	Measure	Measure	Measure	Measure	Measure	Measure	Measure	Measure	Inspection
2379	degrees	degrees	degrees	degrees	degrees	degrees	degrees	degrees	degrees	degrees	degrees	degrees	degrees	degrees	degrees	degrees	Step Statu
2380																	ID tag
2381	Date	Time	Time (milli)	Status													
2382	25.09.2016	51:03,2		Fail	Fail	0	Fail	0	Fail	0	Fail	0	Fail	0	Fail	0	1162
2383	25.09.2016	55:07,1		Pass	Pass	37,3351	Pass	140,505	Pass	103,17	Pass	78,7155	Pass	104,727	Pass	73,3867	1163
2384	25.09.2016	59:11,6		Pass	Pass	39,1741	Pass	140,472	Pass	101,297	Pass	78,8688	Pass	102,627	Pass	77,2065	1164
2385	25.09.2016	03:23,0		Pass	Pass	38,4649	Pass	138,486	Pass	100,021	Pass	80,4417	Pass	103,246	Pass	76,292	1165
2386	25.09.2016	07:27,3		Pass	Pass	37,6872	Pass	140,916	Pass	103,228	Pass	77,1341	Pass	103,661	Pass	75,9766	1166
2387	25.09.2016	11:31,9		Pass	Pass	37,8388	Pass	140,583	Pass	102,744	Pass	78,1067	Pass	102,175	Pass	76,9741	1167
2388	25.09.2016	16:15,7		Pass	Pass	37,9735	Pass	141,701	Pass	103,727	Pass	77,4719	Pass	103,765	Pass	75,036	1168
2389	25.09.2016	20:20,1		Pass	Pass	37,5185	Pass	138,206	Pass	100,688	Pass	81,2784	Pass	100,601	Pass	77,4323	1169
2390	25.09.2016	24:24,7		Pass	Pass	38,5936	Pass	140,726	Pass	102,132	Pass	78,656	Pass	103,336	Pass	75,8757	0000116A
2391	25.09.2016	28:28,8		Pass	Pass	37,4326	Pass	140,647	Pass	103,214	Pass	78,3945	Pass	103,264	Pass	75,1269	0000116B
2392	25.09.2016	32:33,5		Fail	Fail	57,678	Pass	139,966	Fail	82,2878	Pass	81,5786	Pass	100,345	Fail	95,789	0000116C
2393	25.09.2016	36:38,0		Pass	Pass	38,287	Pass	139,795	Pass	101,508	Pass	78,6765	Pass	102,579	Pass	77,2363	0000116D
2394	25.09.2016	40:42,7		Fail	Fail	42,5225	Pass	141,253	Pass	98,7305	Pass	80,6117	Pass	100,219	Fail	80,439	0000116E
2395	25.09.2016	44:47,3		Pass	Pass	37,6545	Pass	140,485	Pass	102,831	Pass	78,2782	Pass	103,661	Pass	75,2302	0000116F

Obrázek 52 Výstřížek z tabulky dat reportu po inspekci

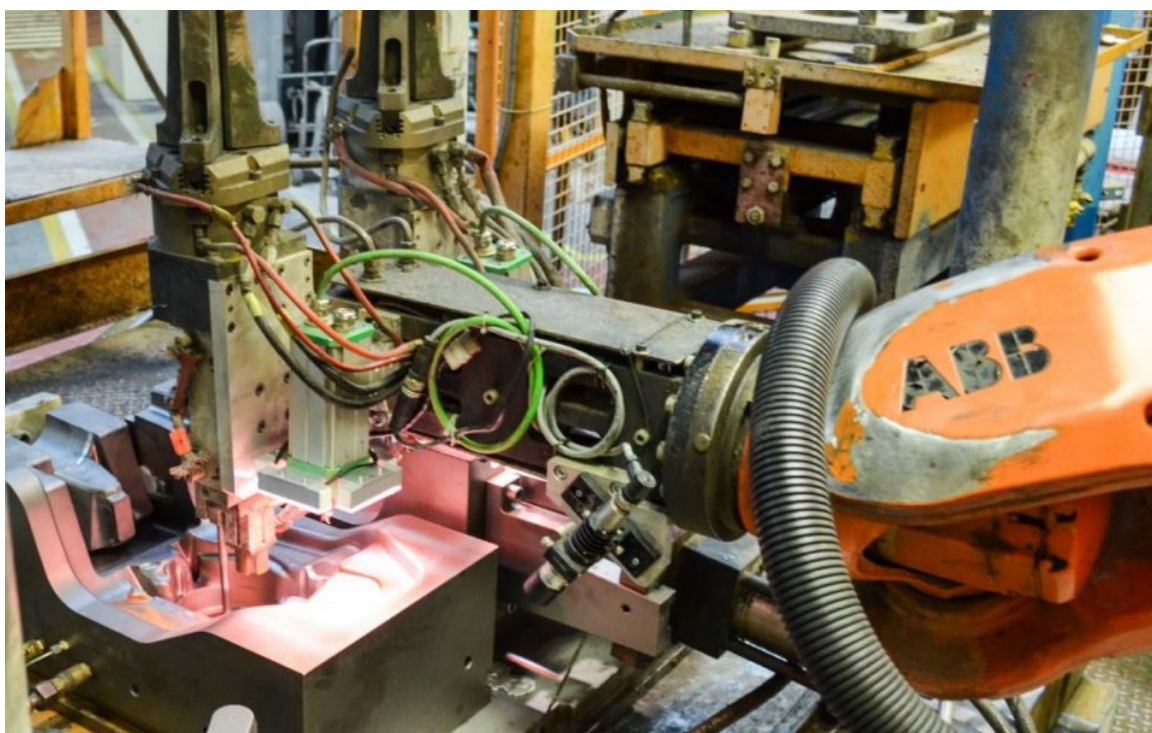
Pro testování obrázků inspekce byly vytvořeny složky se špatně vyhodnocenými sítky, s opravdu správnými sítky a nepravdivě vyhodnocenými sítky. Podle těchto testovacích obrázků pak lze upravit oblasti zájmu a taky náběžné hrany čar laseru (podle obrázku číslo 53).

Název	Datum změny	Typ	Velikost
Q_NOK v OK	21.12.2016 18:09	Složka souborů	
Q_OK	21.12.2016 18:10	Složka souborů	
Q_OK v NOK	21.12.2016 18:10	Složka souborů	
Q_Skutečně NOK	21.12.2016 18:10	Složka souborů	
VisionCheck_Q_2016-10-27_1330 BW1M_...	07.11.2016 17:41	NI Vision Builder ...	687 kB

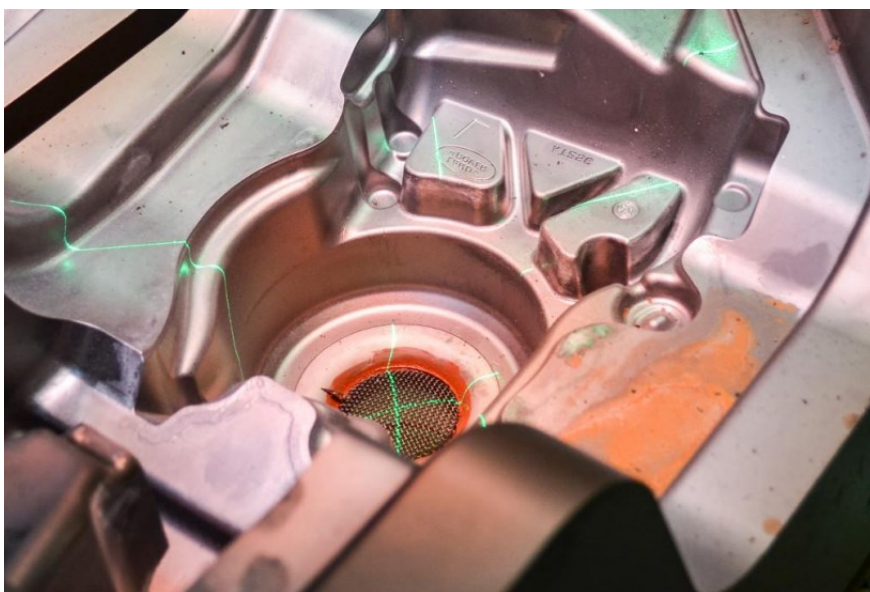
**Obrázek 53 Testování obrázků a rozdělení do jednotlivých složek**

## 7.2 Zobrazení výsledků realizace

Na obrázku číslo 54 je zobrazen robot ABB IRB 6600 s nainstalovaným kamerovým systémem pro kamerovou inspekci sítka. Při tomto kroku robota se zároveň zapne i laser a osvětlení oblasti zájmu. Na obrázku níže je přiblížen detail formy i se vsazeným sítkem. Na sítko svítí laser a vytváří tak zelený kříž. [17]

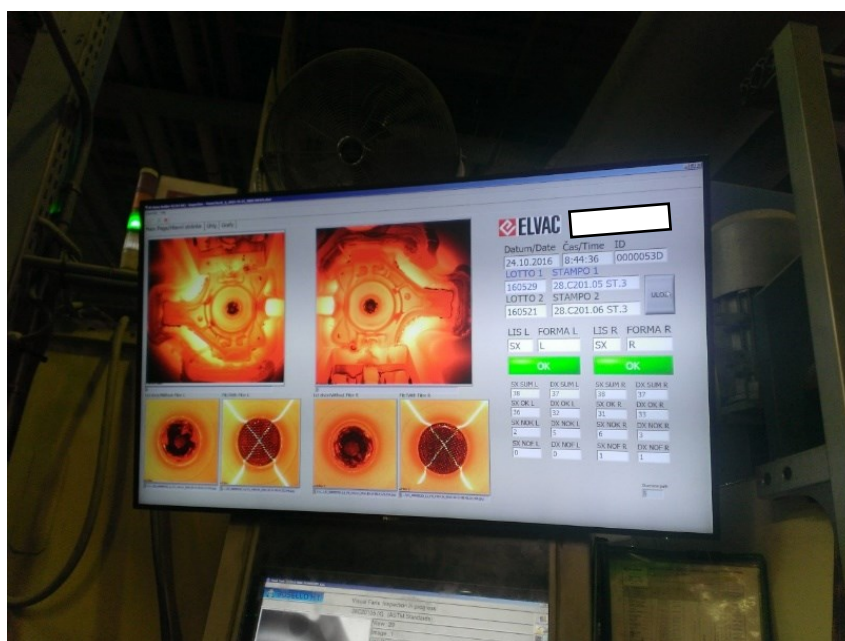


**Obrázek 54 Ukázka výsledků realizace – Robot s kamerovým systémem při inspekci sítka [17]**



**Obrázek 55 Ukázka výsledků realizace – Inspekce sítka v detailu [17]**

Na obrázku číslo 56 je zobrazena obrazovka vizualizace inspekce sítka v provozu. Je v provozu celý den a vizualizuje všechny dostupné parametry inspekce. Jedná se o nasnímané obrázky z celé formy a pak ořez licího otvoru a licí otvor s umístěným sítkem. Obsluha robotického pracoviště je schopná pomocí této vizualizace zapisovat přesné číslo směny.



**Obrázek 56 Ukázka vizualizace dat při inspekci sítka**

## 8 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo sestavit kamerovou inspekci pro monitoring správného usazení sítky v licím otvoru formy. Diplomová práce byla zpočátku navrhována v prostorech firmy Elvac, a.s. a poté byla realizována přímo ve firmě zabývající se výrobou brzd. Kamerová inspekce byla namontována na robota přímo v prostoru robotického pracoviště.

Byl proveden rozbor prostředků a přístupů strojového vidění v průmyslu. Strojové vidění je možno aplikovat ve všech sférách průmyslu. Největší výhodou strojového vidění je nepřetržitá kontrola výrobků ve ztížených podmínkách. Průmyslové kamery dokážou ve velmi vysoké rychlosti kontrolovat výrobek a posílat výsledek inspekce přímo do řídicího systému bezchybně a velmi zodpovědně.

Dále byla v diplomové práci popsána a podrobně rozebrána analýza použití strojového vidění ve smyslu realizace systému kamer v robotických pracovištích. Hlavní problematikou této části je vyřešit umístění kamer na robota. Kamery mohou být připevněny na rameno robota nebo na koncový efektor robota ve stylu tzv. robotického vidění. Nejvíce se však využívá možnost staticky připevněné kamery v okolí pásového dopravníku. Poté je důležité udělat rozbor všech typů robotů na trhu, aby byl projekt spojení robota s kamerovým systémem realizovatelný a provozuschopný.

Aplikace byla navrhována a posléze realizována v programu VBAI. Pro pochopení jednotlivých inspekčních kroků byla zároveň vyvinuta stejná aplikace v jazyce MATLAB a vytvořena její grafická verze v MATLAB GUI. Jelikož se ve VBAI pracuje v diagramech a přidávají se jednotlivé funkce do inspekčních kroků, tak v MATLAB GUI lze všechny kroky inspekce napsat ve zdrojovém kódu.

Realizace kamerového systému s nasazením aplikace v robotickém pracovišti proběhla úspěšně. Byla vyřešena komunikace mezi řídicím systémem robota (PLC) a průmyslovým PC, kde je uložena aplikace strojového vidění. Zároveň byl proveden převod pro přenos dat mezi PLC a PC mezi komunikačními protokoly Profibus/ModBus. Celý systém je odolný vůči vysokým teplotám a prachu, který vzniká při výrobě brzdných třmenů. Vizualizace dat se zobrazením na LCD monitor je přehledná a ukazuje všechny podstatné věci spojené s kamerovou inspekci. Obsluha robotického pracoviště si díky této vizualizaci může zapisovat potřebné údaje o evidenci změn. Každý obrázek inspekce je uložen na externí hard disk a také je vytvořen report se správností usazení sítky v licím otvoru i se všemi úhly natočení sítky v čase.

Správnost funkce kamerové inspekce v rámci robotického pracoviště při výrobě brzdných třmenů byla ověřena. Proběhla různá testování celého systému ve smyslu zkoušení OK/NOK kusů fotek inspekce. Jednalo se o test skutečných OK/NOK kusů fotek s opakovaným zkoušením správné funkčnosti vyhodnocení v programu. Testovaly se také možné způsoby osvětlení a filtry průmyslových kamer. V průběhu realizace byla několikrát změněna hodnota elektronické závěrky kamery z důvodu měnícího se slunečního svitu v hale.

## Citovaná literatura

- [1] Strojové vidění – tutoriál. Ve vlastnictví Elvac a.s. 2016 [cit. 2016-6-6].
- [2] Mitsubishi family Melfa [online]. *cz3a.mitsubishielectric.com*, 2016 [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <https://cz3a.mitsubishielectric.com/fa/cs/products/rbt/robot/>
- [3] URBANČÍK, Kristián. *Programovatelné automaty a vizualizace řídicích systémů* [online]. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2014 [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: [www.tuke.sk](http://www.tuke.sk)
- [4] Vision Guided Solutions - introduction. *Cubicautomation.com* [online]. 2016 [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <http://www.cubicautomation.com/solutions>
- [5] SELINGEROVÁ, Simona. *Pohled na robotické pracoviště* [online]. Core.ac.com, 2010 [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30307142.pdf>
- [6] MŽÍK, Jakub. *Robotizované výukové pracoviště s robotem ABB IRB 360* [online]. Ostrava: VŠB, 2013 [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: [www.dspace.vsb.cz](http://www.dspace.vsb.cz)
- [7] Vision builder for automated inspection. [online] *Atesystem.cz*. 2016 [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/produkty/podle-vyrobce/national-instruments/vision-builder/>
- [8] Ace GiGe Vision – popis. [online] *kamery.atesystem.cz*. 2016 [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/produkty/podle-vyrobce/basler/ace-gige-vision/>
- [9] 5 megapixelové objektivy Basler lens – popis. [online] *kamery.atesystem.cz*. 2016 [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/produkty/podle-vyrobce/basler/5-megapixelove-objektivy-basler-lens/>
- [10] Liniový laser řady HD green. [online] *lap-laser.com*. 2016 [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <https://www.lap-laser.com/cz/prumysl/produkty/projekce/liniove-lasery/rada-hd-green/>
- [11] E-shop Elvac a.s. IEC Stabil PRO NISE 3600E. [online] *elvac.eu*. 2017 [cit. 2017-01-07]. <https://www.elvac.eu/Default.aspx?tabid=701&Display=ProductDetailView&TreeType=Product&ProductId=106286>
- [12] Siemens S7-1211 DC/DC/DC datasheet. [online] *siemens.ca*. 2017 [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <https://www.siemens.ca/web/portal/en/ProductsServices/Documents/SummerSpecial/S7-1200%20CPU%20Touch%20Panel.pdf>









- [13] D-LINK DGS-1008P datasheet. [online] *dlink.com*. 2017 [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <http://www.dlink.com/cz/cs/support/product/dgs-1008p-8-port-gigabit-poe-unmanaged-switch>
- [14] KOZIOREK, J.; KUČERA, A.; HAŠKA, J.; ŠMÍD, J. Programovatelné automaty a vizualizace řídicích systému [online]. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2017-01-07].
- [15] BERGER, Hans. Automating with SIMATIC. 5th edition. Erlangen, Germany: Publicis Publishing, 2013, 284 p. ISBN 978-3895783876.
- [16] BERGER H. Automating with SIMATIC S7-1200: Configuring, Programming and Testing with STEP 7 Professional. Hardcover, 2014. ISBN-13: 978-3895784040.
- [17] Reference 2016 – automotive. Kontrola kvality usazení dílu ve formě. [online] *elvac.eu*. 2017 [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: [https://www.elvac.eu/Portals/0/Docs/Inzenyring/Automotive/2016\\_Kontrola\\_kvality\\_usazeni\\_dilu\\_ve\\_forme\\_1.pdf](https://www.elvac.eu/Portals/0/Docs/Inzenyring/Automotive/2016_Kontrola_kvality_usazeni_dilu_ve_forme_1.pdf)

## Seznam příloh

### Elektronická příloha na CD I.

Příložené CD je na zadní straně diplomové práce v bílé kapse na CD.

Struktura příloženého CD:

 MATLAB_GUI	21.04.2017 13:17	Složka souborů
 TEXT_DP	21.04.2017 12:49	Složka souborů
 MOXA_prevodnik	21.04.2017 13:17	Složka souborů
 VBAI_Inspekce_sitka	21.04.2017 13:17	Složka souborů
 TIA_ridici_SW	21.04.2017 13:19	Složka souborů
 Dokumentace	21.04.2017 13:32	Složka souborů

**MATLAB\_GUI** – Obsahuje programy grafického rozhraní ve formátu *.m* napsané v jazyce MATLAB. Dále jsou zde obrázky vloženého sítka v licím otvoru pro následnou inspekci. Taktéž je zde uložen grafický editor tohoto programu ve formátu *.fig*. **(Veřejná část CD).**

**TEXT\_DP** – Jsou zde texty diplomové práce ve formátu *.docx* a *.pdf*. **(Veřejná část CD).**

**MOXA\_prevodnik** – Součástí této složky je konfigurační soubor pro převodník MOXA Profibus/ModBus. Dále je zde přiložen GSD soubor pro práci s převodníkem v TIA portal V13. Obrázky pro ukázkou konfigurace jsou zveřejněny v poslední složce. **(Neveřejná část přiložená na CD).**

**VBAI\_Inspekce\_sitka** – V této složce je uvedena aplikace strojového vidění pro kamerovou inspekci. Jsou zde uloženy programy pro automatizaci 3 výrobních strojů v rámci robotického pracoviště. V další složce jsou ukázány výsledky testování fotek sítka a excelovských *.xls* formátů reportu. **(Neveřejná část přiložená na CD).**

**TIA\_ridici\_SW** – Zde je uveden program pro PLC Siemens S7 -1200. Součástí této složky je i GSD soubor Moxi. Pak zde jsou obrázky z obrazovky při vývoji programu. **(Neveřejná část přiložená na CD).**

**Dokumentace** – První podsložka je elektro-instalace, což je elektrická projekce celého projektu v E-Plan. Pak je součástí této části katalogy všech komponent projektu. Poslední část je složena z technických návodů pro provoz robota. **(Neveřejná část přiložená na CD).**